

Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

FERRAMENTAS CAD/CAM E A ARQUITETURA DIGITAL

Tiago Vieira de Castro Alves
Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura
Orientada pelo Prof. Doutor Pedro Leão Neto

Porto | 2013

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor Pedro Leão Neto, pela atenção, ajuda e orientação;
Aos meus pais, aos meus irmãos, às minhas avós e tios, por tudo;
À Rita pela prestabilidade, compreensão e ajuda preciosa;
À Luisa pela disponibilidade;
Ao Pedro pelo companheirismo nos momentos mais difíceis;
Aos amigos, pela distração.
Obrigado



A evolução tecnológica vivida ao longo dos séculos marca definitivamente o papel do arquiteto na sociedade. As grandes revoluções na área da tecnologia permitem-lhe atingir novos patamares de liberdade criativa e criar novos paradigmas, apenas possíveis de entender na época em que estão inseridos.

Com a Era Digital, o potencial gerador de criatividade das ferramentas digitais, em conjunto com os avanços já alcançados na indústria aeroespacial, naval e automóvel, permitiu descobrir novas dimensões de concepção arquitetónica e desenvolver uma construção mais complexa. Estas ferramentas também se apresentam como mecanismos que permitem converter modelos digitais em artefatos arquitetónicos à escala real, sendo que o projecto desenvolvido no computador resulta diretamente na sua realização material, alterando por completo a metodologia da atividade arquitetónica.

07

O processo de fabricação através dos sistemas CAD/CAM depende de três etapas: em primeiro lugar, a utilização de um software que permita explorar a ideia do projeto; em segundo lugar, a obtenção de um modelo digital que permita converter o projeto num conjunto de instruções, para possibilitar, em terceiro lugar, a utilização das máquinas de fabricação CAM que interpretam e executam o objeto. Um modelo bem construído é uma ferramenta funcional e informativa, que se destina a rever e tomar todas as decisões antes da fase de construção começar.

Através do estudo e observação do trabalho de alguns dos arquitetos contemporâneos, foi possível concluir que as ferramentas digitais introduziram alterações significativas na concepção do objeto arquitetónico, ao permitir novos caminhos para a exploração da sua forma. No entanto, e ao contrário do que é normal na História da Arquitetura, não é possível associar uma linguagem específica a este momento, o que torna difícil assumila como uma corrente. De qualquer forma, é indiscutível que a alteração do panorama metodológico iniciou o que podemos chamar de arquitetura digital.



Technological developments over the centuries lived definitely marks the role of the architect in society. The great revolutions in technology allow you to achieve new levels of creative freedom and creating new paradigms only possible to understand at the time they are inserted.

With the digital age, the potential generator of creative digital tools, together with previous advances in aerospace, marine and automotive, allowed to discover new dimensions of architectural design and develop a more sophisticated construction. These tools are also seen as mechanisms for converting digital models in real scale architectural artifacts, and the project developed on the computer results directly in its material realization, completely changing the methodology of architectural activity.

The manufacturing process through the CAD / CAM systems depends on three steps: first, the use of software that let you explore the idea of the project, and secondly, to obtain a digital model that allows the project to convert a set of instructions, to, thirdly, the machinery manufacturing CAM interpret and implement the object. A well-built model is a functional and informative tool, which is intended to review and make all the decisions before construction phase starts.

By observing the work of some contemporary architects, can be considered that the introduction of digital tools allowed the reinvention of tectonics in shaping the architectural object, by allowing the exploration of form and greater attention to detail. However, contrary to what is normal in the history of architecture, it is not possible to associate a specific language to this moment, making it difficult to take it like a chain. Anyway, it is undisputed that the methodological change the landscape began what we call digital architecture.



Les développements technologiques au cours des siècles a vécu marques certainement le rôle de l'architecte dans la société. Les grandes révolutions en matière de technologie vous permettent d'atteindre de nouveaux niveaux de liberté de création et de créer de nouveaux paradigmes seulement possible de comprendre au moment où ils sont insérés.

Avec l'ère du numérique, le générateur potentiel d'outils de création numérique, ainsi que les avancées précédentes dans l'aérospatiale, maritime et automobile, a permis de découvrir de nouvelles dimensions de la conception architecturale et de développer une construction plus sophistiquée. Ces outils sont également considérés comme des mécanismes de conversion des modèles numériques en temps réel l'échelle architecturale des artefacts, et le projet développé sur l'ordinateur les résultats directement dans sa réalisation matérielle, changeant complètement la méthodologie de l'activité architecturale.

Le processus de fabrication à travers les systèmes de CAD / CAM repose sur trois étapes: d'abord, l'utilisation de logiciels qui vous permettent d'explorer l'idée du projet et, deuxièmement, d'obtenir un modèle numérique qui permet au projet de convertir un ensemble d'instructions, d', troisièmement, la CAM fabrication de machines d'interpréter et de mettre en œuvre l'objet. Un modèle bien construit est un outil fonctionnel et informatif, qui est destinée à examiner et à prendre toutes les décisions avant la phase de construction commence.

En observant le travail de certains architectes contemporains, peut être considéré que l'introduction d'outils numériques a permis la réinvention de la tectonique dans la formation de l'objet architectural, en permettant l'exploration de la forme et une plus grande attention aux détails. Cependant, contrairement à ce qui est normal dans l'histoire de l'architecture, il n'est pas possible d'associer une langue spécifique à ce moment, il est difficile de le prendre comme une chaîne. Quoi qu'il en soit, il est incontestable que le changement méthodologique le paysage a commencé ce que nous appelons l'architecture numérique.



RESUMO
ABSTRACT
RÉSUMÉ

PLANO DE DESENVOLVIMENTO

- 0.1. INTRODUÇÃO
- 0.2. MOTIVAÇÃO
- 0.3. OBJETIVOS
- 0.4. METODOLOGIA

PARTE I - ORIGENS E AMBIENTES CAD/CAM

CAPITULO 1 – CONTEXTO DA ARQUITETURA COMO ESPETRO DA E CULTURA DE CADA ÉPOCA.

- 1.1 A PRÁTICA ARQUITETÓNICA: A REVOLUÇÃO AGRÍCOLA
- 1.2 A PRÁTICA ARQUITETÓNICA: A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL
- 1.3 A PRÁTICA ARQUITETÓNICA: A REVOLUÇÃO DIGITAL
- 1.4 CONCLUSÃO

CAPITULO 2 – A NATUREZA DOS SISTEMAS CAD/CAM

- 2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO
- 2.2 COMPUTADOR
- 2.3 O CAD/CAM
- 2.4 CONCLUSÃO

13

PARTE II – COMPLEXIDADE FORMAL NA ARQUITETURA

CAPITULO 3 - A TRANSIÇÃO DO DESENHO DIGITAL PARA A FABRICAÇÃO DIGITAL

- 3.1 A FORMA NA ARQUITETURA DIGITAL
- 3.2 A PARAMETRIZAÇÃO – O ESTILO
- 3.3 A MANUFATURA COMPUTADORIZADA AO SERVIÇO DA ARQUITETURA
- 3.4 PERSONALIZAÇÃO DA PRÉ-FABRICAÇÃO
- 3.5 CONCLUSÃO

PARTE III – ESTRATEGIAS ADOTADAS NA ARQUITETURA

CAPITULO 4 – ATELIERS DIGITAIS

- 4.1 CAMINHO DIGITAL
- 4.2 CASE-STUDIES DE ESCRITÓRIOS ARQUITETÓNICOS BASEADOS EM SISTEMAS CAD/CAM
 - 4.2.1 HERZOG & MEURON
 - 4.2.2 NORMAN FOSTER + PARTNERS
 - 4.2.3 FRANK GHERY
 - 4.2.4 MIT FAB LAB
 - 4.2.5 ACHIM MENGES

PARTE IV - REFLEXÃO FINAL

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PLANO DE DESENVOLVIMENTO

0.1 INTRODUÇÃO

0.2 MOTIVAÇÃO

0.3 OBJETIVOS

0.4 METODOLOGIA



Ao encarar a Arquitetura como uma disciplina, etimologicamente, o arquiteto é o seu discípulo. Na prática, o arquiteto está, constantemente, à procura de noções de beleza novas e proporções formais através da exploração das técnicas e suportes de representação disponíveis no setor construtivo. Por essa razão, é possível associar determinadas características dos edifícios à capacidade que a tecnologia tinha na época em que foi construído.

Nos últimos anos, o mundo tem assistido ao desenvolvimento de artefatos digitais que abrangem todas as áreas, em que o Homem actua e que vieram alterar significativamente a sociedade atual. A Era da Informação, apoiada nas tecnologias mais recentes, permite atividades impensáveis há poucos anos. O início do Séc. XXI parece dar vida a tudo aquilo que no século passado pertencia ao domínio da ficção. Este trabalho de tese parte do pressuposto que a tecnologia e, nomeadamente, as ferramentas CAD, fazem já, indiscutivelmente, parte do processo de trabalho de qualquer arquiteto. No entanto, a inclusão dos sistemas de manufatura digital ainda não estão envolvidos no processo habitual da maioria dos escritórios de arquitetura. O objetivo é perceber como é que a fabricação digital pode alterar o pensamento arquitetónico e, consequentemente, o resultado obtido.

A dissertação que elaborámos procurou evidenciar as alterações decorrentes da grande influência que as tecnologias digitais têm adquirido no campo da arquitetura e as suas implicações na arte de construir. Se aceitarmos que um dos objetivos da arquitetura é servir a sociedade e ser capaz de responder aos seus problemas relacionados com o espaço, influenciando diretamente a vida do homem, então temos que aceitar que o processo projectual não pode ficar indiferente aos avanços da sociedade e às novas ferramentas digitais.

Apesar das áreas de estudo da computação gráfica, da geometria e do desenho poderem ser consideradas áreas autónomas do conhecimento, estas disciplinas entrecruzam-se, abrindo novas potencialidades para a prática arquitetónica. Os diversos métodos de representação do desenho – maquete, modelação 3D, fotomontagem, etc.



são determinantes, atualmente, na atividade arquitetónica, apresentando-se como instrumentos primordiais na concepção e representação de uma ideia, ao permitirem simular, pensar e explorar a arquitetura antes de ela ser construída. A atividade projectual figura-se como um processo de comunicação. Como tal, exige-se ao arquiteto a manipulação de diferentes formas de linguagem responsáveis por comunicar o projecto em diversos códigos, segundo as exigências das várias especialidades que a arquitetura integra.

Os sistemas de representação no universo da computação gráfica, como os ambientes virtuais, o 3D interativo, os protótipos digitais e o 4D CAD, aplicados no campo disciplinar da arquitetura, vieram alterar e introduzir novas perspetivas para a exploração de projecto, impondo uma nova reflexão sobre os diversos métodos de representação utilizados tanto a nível concetual como metodológico.

Assim, pareceu-nos importante uma reflexão sobre a comunicação do projecto nas fases de concepção e ligação com a construção, assim como a postura do arquiteto enquanto elemento chave na relação entre as ferramentas digitais e a arquitetura. Desta forma, este trabalho de investigação incidiu o seu estudo nos sistemas CAD/CAM,¹ evidenciando as oportunidades que estas novas ferramentas digitais introduziram na arquitetura contemporânea.



A motivação que está na base da escolha do tema surge pela necessidade que fui encontrando ao longo do curso de arquitetura que frequentei. Ainda que o acesso ao desenho assistido por computador tenha sido garantido ao longo do curso, no campo da modelação, o conhecimento reservou-se apenas ao conhecimento vindo de fora da faculdade, tanto através de publicações, como através de exposições, sobre este tipo de experiência.

A nível pessoal, ao longo do percurso académico, as experiências disciplinares suscitaram-me interesse pela computação e pelas ferramentas digitais ao serviço da prática arquitetónica.

Neste sentido, em 2008, iniciei um projecto pessoal de modelação e fabricação digital. Este projecto desenvolve-se em duas fases: a primeira e atual, começou na aquisição de uma máquina de corte a laser e de uma máquina CNC de 3 eixos. A fase seguinte, ainda por concretizar, será a aquisição de uma máquina de prototipagem rápida. O objetivo deste projecto é alargar as possibilidades futuras tanto a nível pessoal, na satisfação da concepção direta de artefatos de autor, como para terceiros, no desenvolvimento de modelos desenvolvidos por arquitetos, estudantes, ou profissionais ligados à área. No campo prático, ao longo desta pesquisa, exemplos como Frank Ghery e Norman Foster, com obras aparentemente antagónicas, no que diz respeito a conceitos formais, vieram a revelar muitas semelhanças na metodologia que adotaram nos seus percursos profissionais, tornando-se interessante participar neste trabalho.

A escolha do tema resulta assim de um constante interesse sobre as ferramentas digitais e as suas potencialidades, que acompanhou o meu percurso académico e marcou o início da minha vida profissional.



Esta dissertação tem como objetivo principal analisar a forma como o recurso às tecnologias digitais, nomeadamente aos novos processos metodológicos digitalmente e mecanicamente assistidos (CAD/CAM), influenciam as fases conceptuais e construtivas do projecto. Começa com base na premissa de que o desenho assistido por computador é já uma ferramenta de apoio à prática arquitetónica, não só pela facilidade com que permite a comunicação de ideias, mas também pela qualidade e rigor que impõe ao desenho. Conquistada a confiança pelo desenho assistido por computador, o paradigma estabelece-se atualmente na possibilidade permitida ao arquiteto no campo da manufatura digital. Ao longo deste trabalho, vários autores e arquitetos são referidos na perspetiva de acrescentar valor ao tema estudado através das suas obras.

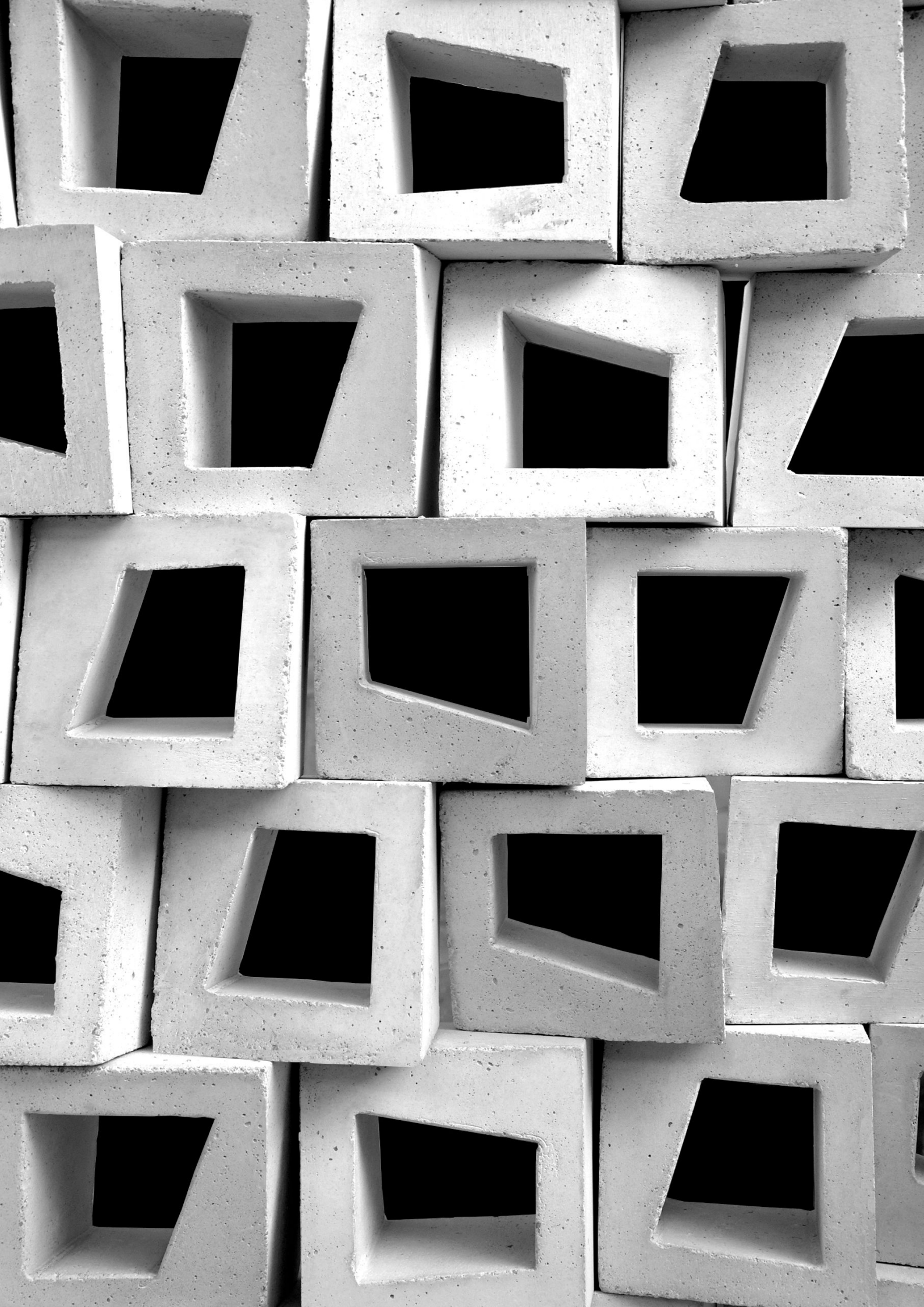
Assim, este trabalho tem como objetivos específicos entender o contexto histórico/social em que se desenvolve a implementação dos novos métodos de concepção na prática da arquitetura, bem como perceber o Estado de Arte das tecnologias digitais e as suas potencialidades. É também objetivo desta pesquisa explorar o quadro preliminar da nova tectónica¹ que os espaços digitais permitem, através da análise de alguns exemplos arquitetónicos.

1. O termo técnico deriva do termo grego Tekton, que significa carpinteiro ou construtor. Este significado evolui de algo específico e físico, como a carpintaria, para se referir à arte, ao método e aos materiais que em conjunto empregam aspetos poéticos à arte de saber construir.



Indo ao encontro dos objetivos delineados anteriormente para este estudo, foi adotada uma metodologia que se traduziu na pesquisa e recolha bibliográfica (livros, publicações, documentos electrónicos, artigos e comunicações científicas, notas pessoais recolhidas em conferências e outros documentos relacionados com o tema), acompanhada de uma análise crítica da informação recolhida. O cruzamento das leituras efectuadas com os dados recolhidos durante a observação de exemplos práticos pretendeu evidenciar conclusões dotadas de sentido crítico que respondam à problemática levantada.

Após uma breve revisão histórica dos sistemas CAD/CAM, centrada nos momentos mais marcantes da arquitetura com relevância para este tema, foi feita uma análise sobre alguns exemplos práticos, de forma a obter uma visão mais concreta e real da inclusão destas novas ferramentas no quotidiano da arquitetura. Numa segunda fase, abordou-se a fabricação digital, revelando as potencialidades que estes novos processos digitais permitem nesta era contemporânea de informação. Por fim, são apontados alguns exemplos de arquitetos e os seus respetivos métodos de trabalho coadjuvantes com as ferramentas digitais para alcançarem as formas arquitetónicas pretendidas. Neste ponto, salienta-se o especial interesse no escritório de Norman Foster e Frank Ghery, no MIT FabLab e em alguns trabalhos do Arquiteto Achim Menges. Como reflexão final, tentámos sintetizar os pontos cruciais deste trabalho, na perspetiva de permitirem entender com maior clareza a arquitetura apoiada por meios digitais.



"form follows means, means follow tools, tools yield to desires, and
desire is everything." ¹

27

fig_1
"Block Party"
Blocos de
ventilação
em Betão,
estudantes em
Singapura. (2013)

1. Szalapaj, 2005: p.10 "a forma segue o meio, o meio segue as ferramentas, as ferramentas cedem ao desejo, e o desejo é tudo"

PARTE I

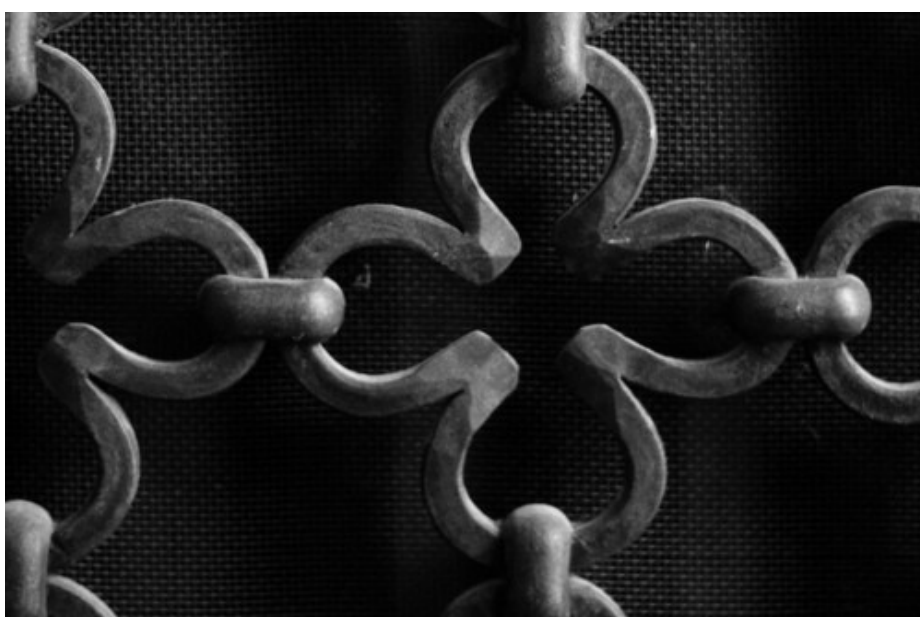
ORIGENS E AMBIENTES CAD/CAM

CAPITULO 1

CONTEXTO DA ARQUITETURA COMO ESPETRO DA TÉCNICA E CULTURA DE CADA ÉPOCA

A arquitetura sofreu, ao longo da história, profundas alterações que se prendem tanto com fatores de ordem social ou cultural, onde se incluem revoluções políticas ou de pensamento, como com razões mais técnicas, relacionadas com a introdução de novos materiais e de diferentes sistemas construtivos devido à evolução de mecanismos técnicos que apoiam a sua prática.

São assim muitos os fatores que influenciaram a arquitetura na sua evolução, mas pode-se dizer que em quase todos os momentos foi evidente o objetivo de, para além de assegurar protecção e abrigo para o homem, o desejo de provocar diferentes sensações na experiência do objeto arquitetónico, através da criação de diferentes formas e, conseqüentemente, diferentes espaços.



1.1 A Prática Arquitetônica: A Revolução Agrícola

Para perceber a influência das novas tecnologias digitais na arquitetura, principalmente na sua componente tectônica, torna-se necessário um entendimento do contexto histórico do processo metodológico que apoia a criação arquitetônica e os seus processos de trabalho.

A arquitetura poderá ter começado 8.000 anos a.C. quando o Homem sentiu necessidade de construir o abrigo para se proteger da noite e dos animais. Os métodos de sobrevivência que surgiram ao longo do tempo, com a sedentarização, a roda e dos sistemas de colheitas, permitiram a organização da sociedade em aglomerados urbanos. Acompanhando esta evolução, o anterior abrigo transformou-se em edifício/casa e a técnicas de construção tornaram-se mais complexas. Estávamos perante a primeira revolução tecnológica – a Revolução Agrícola, segundo William J. Mitchell¹.

Nesta época, o arquiteto assumia-se como mestre-de-obras, associando várias profissões ligadas à construção, onde trabalhava com os materiais diretamente na obra e assumia uma posição de comando em todos os aspectos do processo arquitetónico.

Através do recurso a métodos empíricos, os testemunhos partilhados de mestre para mestre e deste para os aprendizes, o arquiteto atingia um conhecimento direto do material através do sucesso ou fracasso da construção. Assim, os conhecimentos sobre a construção, as proporções do espaço, as cores, o movimento do sol, a acústica e o fluxo do ar, entre outras questões, foram progressivamente melhorando e transmitidos do mestre para o aprendiz através das várias gerações de arquitetos.

Nesta altura, os materiais existentes, a pedra e a madeira, obrigavam à procura da forma mediante as suas capacidades estruturais, influenciando diretamente a arquitetura.

1. Mitchell+ McCullough, 1995: P. 1-3

Este processo empírico e intuitivo permitiu erguer construções cada vez mais sofisticadas, introduzindo ao longo do tempo “regras” que condicionavam a maneira de projectar. Esta ideia é defendida por Vitruvius (I a.C.) na sua compilação “Dez Livros de Arquitetura”, quando se refere ao nascimento da disciplina “ (...) o homem não inventou uma forma arquitetónica e logo procurou o melhor material, mas sim começou por fazer uso do material que a natureza lhe oferecia, adoptando a forma que viria a ser imposta por este.”

Até ao séc. XII, a arquitetura foi conduzida por regras que resultavam das experiências anteriores (medievais, gregas e árabes) e do único tratado de arquitetura existente até à altura: “Da Arquitetura”¹.

Após a Revolução Agrícola, desenvolveram-se técnicas e processos construtivos novos, as cidades tornaram-se cada vez maiores, mais complexas e recheadas de sistemas eléctricos e mecânicos inovadores. Como consequência, a complexidade técnica exigida ao arquiteto aumentou e o nível socioeconómico e cultural permitiu desenvolver novos paradigmas. Estamos perante a segunda revolução tecnológica - a Revolução Industrial².

1. “Da arquitetura” (aprox. 40 A.C.). O seu autor, Vitruvius, recolhe todo o conhecimento construtivo acumulado dos séculos anteriores e encara a arquitetura como uma ciência, influenciando a arquitetura posterior. Ele propõe o estabelecimento de três exigências para um edifício: firmitas, venustas e utilitas.

2. Mitchell+ McCullough, 1995: P. 1-3

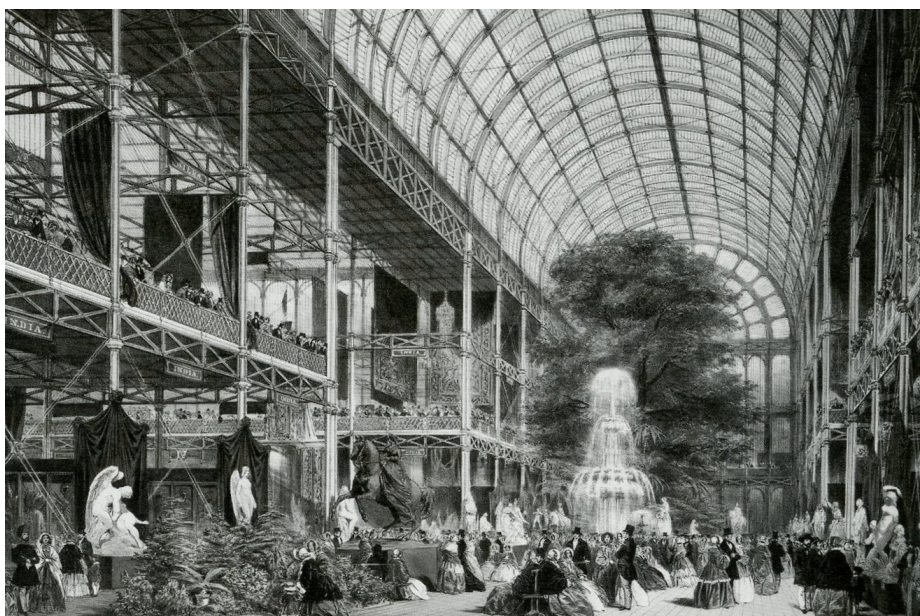
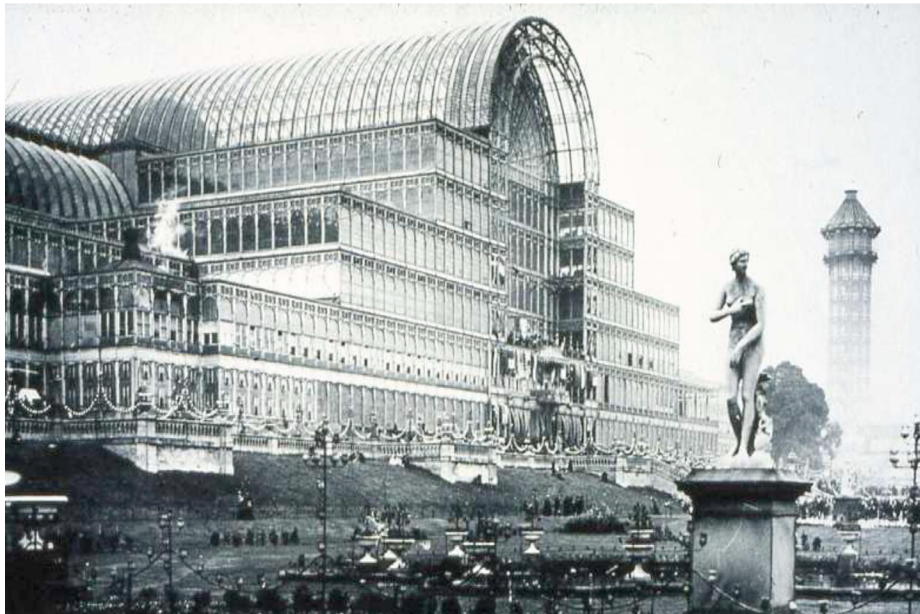
1.2 A Prática Arquitetônica: A Revolução Industrial

A Revolução Industrial provocou, em toda a Europa, alterações significativas na sociedade, entre os quais se destacam o aumento da população, o incremento da produção industrial e a mecanização dos sistemas de produção. No que diz respeito à arquitetura, a Revolução Industrial é responsável pelo domínio da tecnologia, que vai permitir a alteração dos sistemas construtivos. Os materiais tradicionais, como a pedra, o tijolo e a madeira, passaram a ser trabalhados de forma mais racional, introduzindo-os na lógica industrial que se vivia. Na sequência, surgem também outros materiais como o ferro, o vidro e, mais tarde, o betão armado.

Estas grandes alterações, a par das alterações profundas da sociedade, não só culturais mas também de mentalidades, contribuíam para a transformação dos pressupostos da arquitetura, que vai desde a difusão do espírito científico até à possibilidade de explorar a resistência dos materiais.

A Era Industrial introduz a percepção de que os edifícios podem ser constituídos por peças fabricadas em série através de máquinas industriais. Um exemplo claro desta nova forma de construir foi o edifício Crystal Palace, de 1851.¹ Este edifício estava integrado na primeira exposição universal, realizada em Londres, e apresentou-se muito inovador no que diz respeito a materiais utilizados: o uso do ferro e do vidro. Neste exemplo, é importante dar relevo à introdução da pré-fabricação na construção. O sistema simples e racional de produção em massa permitiu a construção de 62.000 m² em apenas seis meses. A grande novidade foi a nova relação entre os meios técnicos e as qualidades expressivas do edifício. O conjunto oferece uma sensação de espaço indefinido pelo uso do vidro mas também pela redução da dimensão dos elementos construtivos. “A rara combinação de uma monumentalidade inegável com uma certa delicadeza, não seria jamais repetida.”²

1. Crystal Palace, Construído Em 1851 Em Londres, Da Autoria De Joseph Paxton (1803-1865)
2. Giedion, 1982: P.263



fig_5
Vista do Crystal
Palace - Joseph
Paxton

Já no passado, muito anterior ao contexto da Revolução Industrial, é possível encontrar outro exemplo de construção através de componentes repetidas, as Pirâmides de Gize (aprox. 2550 a.C.). Estes edifícios monumentais foram construídos com cerca de 2.000.000 de pedras, envolvendo 30.000 homens, num processo que demorou mais de 50 anos. No entanto, a comparação entre os dois edifícios não é possível, pois a diferença tecnológica é completamente distinta. O Crystal Palace é a charneira para as construções de estruturas leves e de montagem rápida, introduzindo um novo conceito no processo construtivo.¹

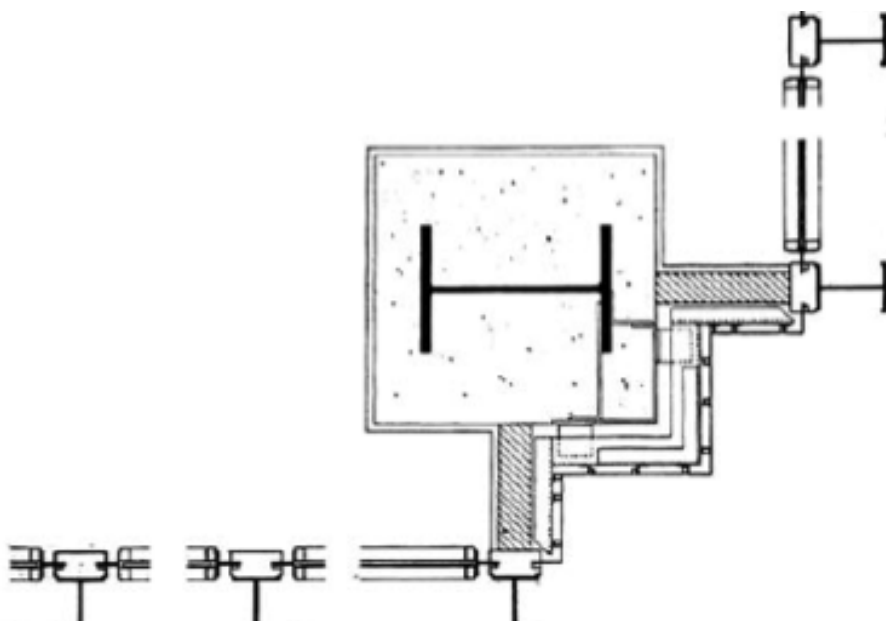
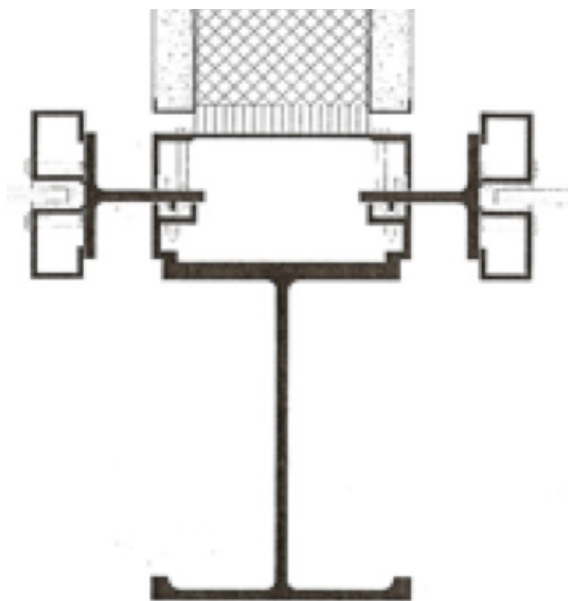
fig_6
Imagem Interior
do Crystal
Palace

Podemos constatar, pelo exemplo de Crystal Palace, que a produção padronizada permitiu a construção de elementos de melhor qualidade a um preço mais reduzido, num período de tempo mais curto. No entanto, a normalização implicou a adoção de formas repetidas, o que poderá ter limitado em alguns aspectos a criatividade do arquiteto.

Quando o processamento dos materiais e as soluções estruturais deixaram de ser desenvolvidas e refinadas no local da construção, e passaram a ser produzidas em fábricas industriais, o arquiteto deixou aparentemente de contactar diretamente com os materiais e as suas soluções construtivas, passando a necessitar de um maior domínio da representação das mesmas. “Na cultura tradicional, os edifícios eram desenhados e construídos no local, utilizando os materiais e processos que a economia local permitia.”² Com a Revolução Industrial, o arquiteto passa a contar com a produção em massa de elementos padronizados, que dependem cada vez menos do local da obra, mas por outro lado, necessitam de uma representação simultaneamente mais normalizada e com maior rigor. É desta forma que ao projecto inicial passa a ser exigido um maior rigor na sua representação, fazendo com que uma parte significativa do trabalho do arquiteto seja transferido para a fase inicial do projecto. “Com a grande divisão do trabalho, os arquitetos distinguem-se dos artesãos e retiram-se do local (obra), e os materiais e componentes podem ser adquiridos através do comércio, em vez de criados localmente.”³

fig_7
Imagem Interior
do Crystal
Palace

1. Mitchell, 1999, In Beckman: P.212
2. Idem
3. Idem



fig_8
Pormenor do Pilar
do Pavilhão de
Barcelona, (1929)
de Mies van der
Rohe

Durante o século XIX, o crescimento em massa da população permitiu a construção de urbanizações de grande escala, onde a especulação imobiliária encorajava ao preço reduzido e à velocidade de construção, muitas vezes em detrimento da qualidade arquitetónica. Estes aspectos também se apresentaram como um desafio à tradição tectónica, a partir do momento em que se identificou o edifício de uma forma semelhante à máquina industrial, o que para alguns autores implicou o afastamento do arquiteto da novidade sensorial do espaço.¹

fig_9
Pormenor da
Fachada do
Edifício Seagram
(1954-1958),
Nova Iorque,
Mies van der
Rohe

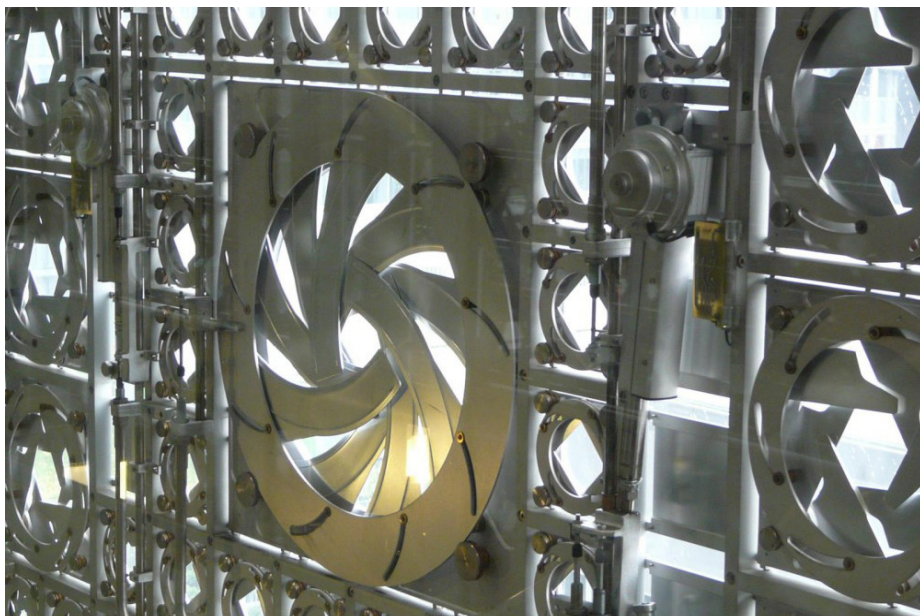
Na época pós-industrial, procurou-se a recuperação dessa postura, recuperando a individualidade de cada projecto, mesmo quando eram utilizados elementos pré-fabricados. Mies Van der Rohe² é um dos arquitetos desta época que mais se destacou, na procura de uma relação harmoniosa entre a estrutura pré-fabricada e a expressividade do pormenor construtivo. Este autor põe em evidência a importância do desenho no processo arquitetónico, procurando o equilíbrio entre as qualidades estruturais do material e a singularidade da sua conjugação, na procura de uma harmonia tectónica muito pessoal. Na maioria das suas obras, Mies procurou sistematizar os detalhes, usando elementos pré-fabricados de forma a uniformizar a expressão formal do detalhe. Como exemplo do seu domínio na articulação da técnica construtiva com o material, torna-se relevante referir duas das suas obras: o Pavilhão de Barcelona, de 1929, e o edifício Seagram, em Nova Iorque, 1958. Através da utilização de elementos construtivos semelhantes, o autor consegue atribuir diferentes significados espaciais, explorando o desenho individual de cada pormenor. Os desenhos do detalhe dos pilares de ambas as obras são claramente elucidativos desta postura.

fig_10
Pormenor do
Pilar do Edifício
Seagram, Nova
Iorque, de Mies
van der Rohe

Após a Revolução Industrial, o desenho assume um estatuto crucial no projecto arquitetónico, ao transmitir as ideias do autor para os restantes elementos ativos na construção. É assim o meio de comunicação por excelência no processo arquitetónico, acompanhando, impulsionando e promovendo a evolução tecnológica.

1. Jabi, 2004: P.257

2. Mies Van Der Rohe (1886-1969), Arquiteto Alemão, Professor na Bauhaus e Criador do Estilo Internacional



1.3 A Prática Arquitetónica: A Revolução Digital

fig_11
Exterior do
Instituto do
Mundo Árabe
(1987) de Jean
Nouvel

Após a Segunda Guerra Mundial, surgem em Inglaterra e nos EUA os primeiros indícios da revolução digital, impulsionada pelos avanços na área da electrónica, em grande parte, para fins militares. Mas é na segunda metade do século XX que o desenvolvimento digital ganha outra dimensão, principalmente com a utilização do PC¹, e com a introdução, mais tarde, da rede e da Internet. Estes elementos introduziram na sociedade ferramentas essenciais para a circulação de informação e cruzamento de dados, quebrando qualquer distância, apoiados em sistemas de computação que simplificaram tarefas que envolvem a sociedade em geral.

fig_12
Pormenor da
fachada do
Instituto do
Mundo Árabe
(1987) de Jean
Nouvel

A arquitetura acompanha esta revolução digital ao alterar os métodos clássicos do projecto, através da introdução das novas ferramentas digitais. Neste contexto, importa perceber quais os efeitos do uso das ferramentas digitais na arquitetura e as alterações provenientes dessa realidade construtiva. Numa primeira abordagem, as novas ferramentas permitiram a utilização do desenho com uma maior liberdade de experimentação e desenvolvimento de alternativas, através de sistemas simples de CAD (Desenho Assistido por Computador)². O arquiteto Jean Nouvel³ (1945-) conhecido pela atenção ao detalhe e ao pormenor construtivo, tirou partido da utilização dos meios digitais disponíveis na altura para desenvolver projectos como o Institut du Monde Árabe⁴ ou a Fondation Cartier pour L'Art Contemporain⁵. É perceptível nestes projectos a importância do pormenor formal dos materiais, desenvolvidos para uma escala só possível pela utilização do desenho digital. Na verdade, se tivessem sido utilizados apenas os meios de representação do projecto tradicional, era com extrema dificuldade que se obtinham os mesmos resultados.⁶

39

fig_13
Vista Geral
da Fundação
Cartier

1. Personal Computer, Computador Pessoal
2. Zeid, 2009: P.15
3. Arquiteto Francês, Pritzker 2008
4. Paris, 1987
5. Paris, 1994
6. Jabi, 2004: P.258



fig_14
"Ginger e
Fred"- Filme de
Fellini, anos 80,
Fred Astaire e
Ginger Rogers a
dançar.

Podemos dizer que estes pormenores adquirem um rigor formal que os aproxima de artefatos industrializados, estando no entanto longe de serem padronizados e fabricados em série. Atinge-se desta forma o objetivo que Mies procurava nos seus detalhes construtivos, mas com o apoio de ferramentas digitais. Se Mies mostrava o perfeito domínio do desenho nos seus pormenores, Nouvel consegue o domínio técnico, com resultados que se podem dizer semelhantes no que diz respeito à atenção dada ao detalhe construtivo. Estes projectos enfatizam, desta forma, uma preocupação com a materialidade da arquitetura e a sua multiplicidade de elementos de construção articulados entre si nas suas várias camadas, baseados na potencialidade que as ferramentas digitais introduziram.

fig_15
Vista geral do
Edifício "Fred e
Ginger" (1996)
de Frank Gehry

Com o desenvolvimento da assistência dada por computadores e a formalização do espaço digital, onde formas complexas podem ser exploradas, encontramos o trabalho de Frank Gehry¹ (1929-) que surge como um dos pioneiros na exploração das capacidades das novas ferramentas digitais, apenas com intuito de atingir e materializar a forte expressão formal reconhecida nos seus edifícios. Este arquiteto caracteriza-se pela procura permanente da tradução fiel das suas ideias arquitetónicas para a forma construída, o sucesso é conseguido através de sistemas de representação, modelação digital e fabricação dos artefatos arquitetónicos. Sem a utilização das novas ferramentas digitais, a materialização das ideias arquitetónicas seriam difíceis, senão impossíveis de concretizar. Esta ideia pode ser exemplificada através de vários projectos de Gehry, apoiados no uso de equipamentos digitais, como é exemplo o edifício Fred e Ginger². Neste edifício, torna-se evidente a marca do desenho digital nas superfícies deformadas e nos painéis de geometria não repetitiva, onde o domínio técnico a nível material permite uma conjugação visível dos elementos construtivos. Gehry é pioneiro na utilização de métodos digitais para racionalizar formas complexas e construir uma arquitetura escultural. O Museu Guggenheim³ foi um ponto de partida para o debate sobre a potencialidade do uso de ferramentas digitais na alteração da realidade construtiva, permitindo a modelação, aparentemente livre, de artefatos arquitetónicos.

fig_16
Maqueta do
Edifício "Fred e
Ginger" (1996)
de Frank Gehry

1. Arquiteto Canadense, Naturalizado Norte-Americano, Pritzker 1989

2. Construído Em 1996, Edifício, Também Denominado De Dancing Building, Localiza-Se No Centro De Praga, República Checa

3. Construído Em Bilbao, Espanha, 1997



fig_17
Museu
Guggenheim
(1997)

Este exemplo introduz a possibilidade das formas curvas e complexas serem traduzidas em desenhos mais simplificados, para que a construção apoiada na fabricação digital seja facilitada. Através dos métodos mais sofisticados de controlo digital, Gehry atinge a tradução quase direta das suas ideias conceptuais. A liberdade de expressão formal permite uma composição arquitetónica constituída por elementos geométricos complexos desligada da solução estrutural, apoiada por sistemas geométricos simples ou constituída por elementos pré-fabricados em betão e aço. Para muitos críticos, este edifício transmite o fascínio da forma curvilínea livre e o uso de novos materiais, mas para outros, o arquiteto não aproveitou o potencial expressivo da estrutura, argumentando que Gehry criou uma escultura em vez de uma peça de arquitetura.¹ Neil Leach critica o trabalho de Gehry por ser "... excessivamente formal, cenográfico..."². O Museu Guggenheim é, de uma forma ou de outra, a charneira da era digital, onde o papel das tecnologias digitais, aplicadas na arquitetura, se transforma numa questão central.

fig_18
Pormenor
Material
do Museu
Guggenheim
(1997)

A prática e disciplina da Arquitetura é um processo complexo que se caracteriza pela criatividade e utilização de uma variedade de meios de representação. Estes, permitem explorar, avaliar e aperfeiçoar as ideias do arquiteto.³ O processo de criação de um edifício pode começar num simples desenho, que representa a ideia inicial do autor, desenvolvendo-se em sucessivos desenhos que testam os conceitos e pressupostos iniciais, procurando alternativas cada vez mais próximas do desenho final. Este processo é desenvolvido através dos meios técnicos disponíveis, o que os torna cruciais na definição do trabalho do arquiteto.

43

fig_19
Museu
Guggenheim
(1997) Entrada

Segundo Hani Rashid, "Encontramo-nos nos primeiros passos de uma revolução digital cujo rumo não estaremos certos durante algum tempo (...) As tecnologias digitais estão hoje a ter profundos efeitos em muitos e diversos aspectos da nossa percepção contemporânea, do genoma humano ao mapa do cosmos.

1. Allan, Foster, 2003: P. 51

2. Leach, 2004: P. 73

3. McMilian, Dorsay, 1998: P. 45-46

As manipulações digitais que utilizam tecnologias de realidade virtual formam uma parte importante desta revolução. Enquanto arquitetos estamos a responder por uma serie de meios, ao conceber princípios geométricos inteiramente novos, novas metodologias e abordagens inteiramente novas à representação para lá da geometria perspéctica.”¹ O arquiteto, o designer, o artista e teóricos exploram a potencialidade do computador e, neste processo, existe sempre especulação e experimentação. Pode-se assim afirmar que a arquitetura vive numa revolução tecnológica, onde a sociedade e a cultura sofrem constantes inovações, criando convenções que necessitam de tempo para serem assimiladas pelo homem.

1.4 Conclusão

A postura que cada arquiteto estabelece perante as questões construtivas e o pormenor arquitetónico, isto é, a tectónica, é o que permite atingir diferentes soluções arquitetónicas.¹ De uma forma geral, são as preocupações com a escolha dos materiais e as articulações com o processo construtivo que permitem a materialização da ideia arquitetónica, cujo o exemplo da obra de Mies Van der Rohe pode expressar com clareza, tal como foi referido no capítulo 1.2. Foi escolhido o termo tectónica para enfatizar o uso de materiais como um meio de revelar o papel da tecnologia, no processo de produção arquitetónica, no sentido de exibir a criatividade dos pormenores e dos detalhes estruturais.

Desta forma, a arquitetura reflecte as características específicas da técnica moderna e da tecnologia mais recente. A utilização de tecnologia moderna, com a introdução de novos materiais e novos métodos de construção, permite estabelecer uma relação inseparável entre a arquitetura e o contexto local, produzindo uma interação entre as pessoas, a natureza e a cultura.² Assim, os edifícios ganham expressão pela sua representação construtiva, revelada pela originalidade e pela criatividade do detalhe no processo de produção de arquitetura. Por esta razão, o edifício representa um vínculo indissociável entre arquitetura e a tectónica³. Esta ideia pode ser representada pelos edifícios apresentados do arquiteto Jean Nouvel, onde a expressão das novas técnicas construtivas marca a imagem contemporânea dos dois edifícios, como foi referido no capítulo 1.3.

A introdução das ferramentas digitais no apoio ao processo arquitetónico veio interferir com esta relação, não só pela alteração na maneira de pensar o projecto (e executá-lo), mas também pelas capacidades formais que foram introduzidas com a manufatura de componentes do objeto arquitetónico. Os novos processos criativos implicam uma relação mais direta do projectista com o artefato e os seus métodos de

¹ Frampton, 1995

² Gao, 2004: P.520

³ Gao, 2004: P.522

produção, o que pode resultar num novo estatuto da profissão. Desta forma, o arquitecto tem mais responsabilidades em todo o processo, pois não só tem que encontrar a forma adequada, em conformidade com a sua ideia, como tem também de definir a maneira como esta é conseguida, através dos meios que dispõe.

Estes fatores vieram alterar profundamente a relação do arquiteto com a sua arquitetura, mas também a relação do utilizador com a mesma.

Tendo como base a pequena abordagem sobre a prática arquitetónica e a sua relação com o contexto cultural e tecnológico de cada época, pode afirmar-se que durante a longa trajetória da história da arquitetura, a representação da forma (objeto) e a produção de artefactos arquitetónicos tem sido determinada pelas condições sociais, culturais, económicas e políticas de cada região e país. Para além das influências já descritas, a tecnologia disponível, por vezes utilizada com outros fins, serve de impulso para desenvolver constantemente o campo da arquitetura.

Desde o Renascimento, com o surgimento da teoria de arquitetura, a forma de tomar decisões, a produção de formas inspiradas em teoria, tornou-se um organismo autónomo do conhecimento arquitetónico.

A Revolução Industrial abre a porta para a máquina-base que sustenta a fabricação e a produção em massa. A criação de formas era concebida pelo poder da automação industrial, onde a funcionalidade e a racionalidade se assumiram como o principal padrão em detrimento da forma trabalhada à mão e do artesanato. “A arquitetura construída de acordo com estas considerações técnicas e funcionais, conformada com um novo vocabulário totalmente estético, e uma nova terminologia ressalva a tónica de Louis Sullivan¹ de que “a forma segue a função” ganhou uma nova vida à medida que os horizontes técnicos expandiram, os teóricos argumentaram que a nova arquitetura era tão puramente racional, tão firmemente baseada na realização dos precisos requisitos funcionais usando toda a gama de variedade de tecnologia moderna disponível, que o resultado seria uma arquitetura com menos estilo.

1. Arquiteto Americano Modernista (1856-1924)

A nova arquitetura era, portanto, sem ornamentos e decoração, era vista de forma honesta, lógica e completamente racional, válida para as necessidades, da tecnologia e do espírito da era da máquina nova.”¹ Valorizada a prática de projecto baseada em valores de produção em massa, rapidamente o caminho para a concepção e automatização da construção passou a ser reforçado, sob o comando do desenho assistido por computador.

A revolução digital marca a mudança da tecnologia analógica para a digital, tendo transformado o estirador numa tela digital. A exploração da forma, ao que parecia, poderia estar divorciada da realidade física. A representar esta ideia surge a obra de Frank Gehry, considerado por muitos críticos um dos representantes da utilização das tecnologias digitais na arquitetura, em que os seus edifícios surgem como expoentes do potencial desta nova maneira de pensar a arquitetura. Com este exemplo, torna-se claro que os espaços digitais de desenho proporcionaram a muitos arquitetos uma libertação em termos de expressão formal. Esta liberdade formal ampliou, consequentemente, a diferença entre a forma e o material, fez a separação hierárquica entre a análise sequencial, a modelação e os processos de fabricação.

A utilização regular de ferramentas avançadas de desenho computacional, na prática arquitetónica, tem, desde os anos noventa, permitido uma vasta amostra de projetos completamente formalistas; formas geométricas e complexas tornam-se emblemas da criatividade digital, em que Frank Ghery é exemplo disso. Esta orientação formal do projeto geométrico aborda também a “forma livre” na arquitetura, juntamente com as tecnologias que facilitam essas formas. Surgem conceitos como a “personalização em massa” e a concepção do “não-padrão”, conceitos estes que depois de um pequeno contexto tecnológico, são abordados e analisados no panorama arquitetónico atual.

CAPITULO 2

A NATUREZA DOS SISTEMAS CAD / CAM

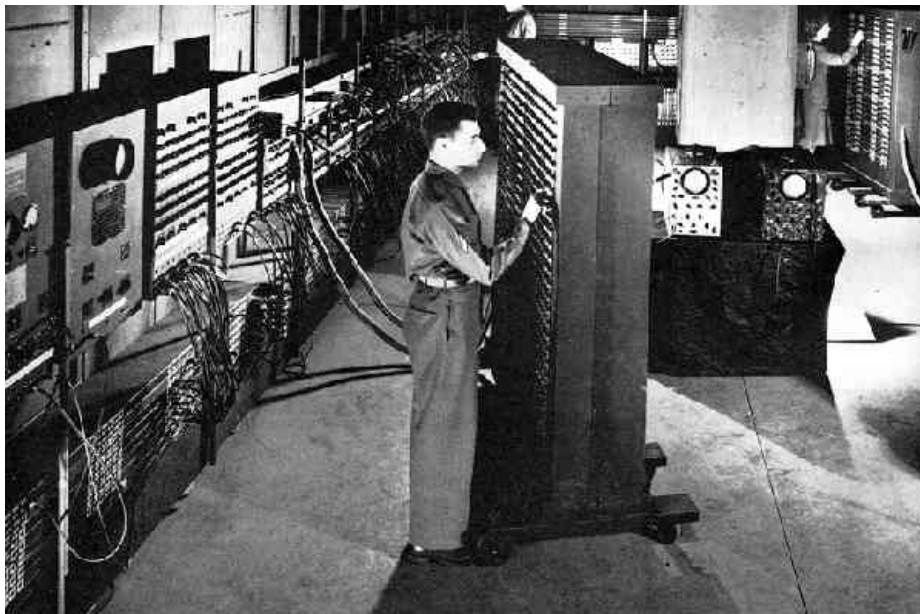
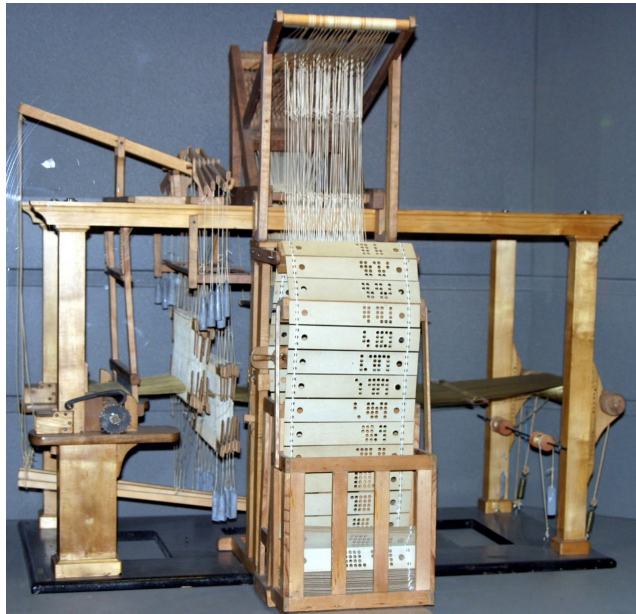
Este trabalho de dissertação, como já referido, tem como objetivo aferir o conhecimento e a sensibilidade necessários à utilização das novas tecnologias, no âmbito criativo e metodológico. Sendo assim, destacam-se as técnicas actuais, através das quais os produtos, os componentes e as montagens são criados e produzidos com o auxílio do computador, no processo de desenvolvimento formal e manufaturação.¹

Com a introdução de novas ferramentas, o design e a arquitetura passam a ter novas formas exploratórias e adquirem diferentes perspetivas. O CAD/CAM é o pioneiro da inovação, no que toca à produção e ao design de novas formas. Foi conduzido numa perspetiva evolutiva, no campo da informação tecnológica, utilizando máquinas altamente sofisticadas e numericamente controladas.

De forma a entendermos e definirmos as características dos sistemas de produção auxiliada por computador, precisamos de olhar para a sua origem e desenvolvimento e, em especial para os dois termos implicados: o “computador” e “produção”.

Devemos também olhar para várias correntes paralelas que contribuíram para o desenvolvimento dos sistemas CAD/CAM. O aumento da automação é uma dessas correntes, que é sinónimo de aumento da industrialização. A evolução da tecnologia informática é também uma fonte de desenvolvimento, influenciada tanto pela tecnologia das máquinas, como pela da automação. O tear de Jacquard, comandado por fitas perfuradas, utilizado no início do século XIX é disso um excelente exemplo.

1. Schodek, 2005. P.3



2.1 Industrialização e Automação

A evolução das ferramentas tecnológicas há muito que é considerada uma das dimensões do desenvolvimento humano. Nesta área, o culminar da pesquisa para encontrar novas e melhores ferramentas e desenvolvimento das tecnologias é o CAD/CAM. Tal como vimos, estas encontram-se profundamente ligadas às técnicas de processamento de material e ao surgimento da industrialização, nos séculos XVIII e XIX, época em que foram introduzidas muitas inovações tecnológicas. Como testemunho de particular importância do desenvolvimento de técnicas de controlo numérico e máquinas de automação temos o trabalho de Joseph-Marie Jacquard¹.

Em meados do século XIX, os conceitos de especialização e a divisão laboral tornaram-se os principais meios utilizados para aumentar a produção. A este processo de especialização está associado o desenvolvimento do design.

Com o início do século XX, a evolução estava mais direccionada para a redução de custos, através da criação de uma maior eficiência em todo o processo produtivo. As inovações introduzidas na Empresa Ford são bem conhecidas e tornam-se exemplo deste fator. O processo de produção desenvolvia-se em fluxos organizados, de forma a levar trabalho aos operários em específicas paragens, onde faziam repetidamente tarefas pequenas e bem definidas. A standardização do produto foi também um dos resultados deste desenvolvimento. Todas estas alterações no processo produtivo deram origem à queda do preço dos automóveis aumentando a área ativa do mercado. Simultaneamente, houve uma mudança de mentalidade e o carro deixou de ser um objeto de luxo e passou a ser uma comodidade. Todo este processo resulta do esforço para melhorar a produção através de tecnologias controladas numericamente, e da abertura de portas a novos processos de produção.²

1. Joseph-Marie Jacquard (1752-1834)
2. Schodek, 2005. P.18

O desenvolvimento do computador moderno é certamente um dos maiores feitos do século passado, principalmente pelo enorme impacto que teve na nossa sociedade e pela influência que mantém na vida quotidiana de todos os intervenientes. Como reacção ao momento de estagnação e respetivo retrocesso que caracterizou o período de guerra, surgiu uma grande necessidade de evoluir na área da informática, correspondendo às carências na aeronáutica. Assim surgem J. P. Eckert¹ e J. W. Mauchly², da Universidade de Pensilvânia, como principais responsáveis pelo desenvolvimento do primeiro computador electrónico, o ENIAC³. Mais tarde, em 1970, foram desenvolvidos os microprocessadores, representando o passo para a criação dos microcomputadores e para a generalização da sua utilização.

Para entender o desenvolvimento dos sistemas CAD é importante perceber a evolução do universo tecnológico e onde este teve lugar: o universo computacional.

1. John Adam Presper Eckert Jr (1919 -1995) matemático e pioneiro da computação

2. John William Mauchly (1907-1980) físico e também pioneiro da computação

3. Electronic Numerical Integrator and Computer, primeiro computador electrónico, construído em 1946.

2.2 Computador

O computador pode ser encarado como um dispositivo electrónico programável, com capacidade para armazenar, recuperar e processar dados das teorias matemáticas que se apresentam na sua génese, como é o caso da álgebra booleana, formalizada no século XIX, que permitiu o desenvolvimento de circuitos binários.¹ Nomes como o de Blaise Pascal², na área da aritmética, e Gaspard Monge³, na área da matemática e geometria descritiva, estão na base para o desenvolvimento dos sistemas de modelação geométrica.

Ainda sem a existência da numeração, o Homem utilizava os dedos ou pedras para contabilizar quantidades, nas mais diversas situações do seu dia-a-dia. Esta necessidade impulsionou o aparecimento do Ábaco, cerca de 500 a. C. que se baseia na movimentação horizontal ou vertical de peças, permitindo determinar quantidades e relações entre dados, através da soma ou subtração. Podemos considerar que este processo é a essência do modo de operação do computador. Mais tarde, o sistema de numeração decimal, inventado pelos árabes, permite dar resposta a problemas mais complexos baseado num processo mais simples.⁴

A Máquina Analítica⁵ (1871) de Charles Babbage⁶ foi o primeiro computador programável, na medida em que estabeleceu os princípios fundamentais encontrados em qualquer computador moderno. Babbage acreditava que, em último recurso, as máquinas poderiam resolver alguns dos problemas da sociedade com base em fundamentos matemáticos. Ao longo dos séculos foram desenvolvidos mecanismos na tentativa de encontrar forma de facilitar a realização de tarefas matemáticas, desde o Ábaco até à Máquina Analítica, procurando criar extensões às capacidades mentais

1. Woodward + Howes, 2005

2. Blaise Pascal (1623 - 1662) físico, matemático, filósofo moralista e teólogo francês.

3. Gaspard Monge (1746 - 1818) matemático francês, criador da geometria descritiva (a base matemática de desenho técnico) e pai da geometria diferencial.

4..(Rheingold, 2000)

5. A máquina analítica, também designado engenho analítico foi na história dos computadores um projecto de um computador mecânico moderno de uso geral, feito pelo professor de matemática britânico Charles Babbage.

6. Charles Babbage (1791 - 1871) cientista, matemático, filósofo, engenheiro mecânico e inventor, originou o conceito de um computador programável acima descrito.

do Homem.¹

Foi através da Física que se encontrou o caminho para a inovação electrónica, quando os cientistas descobriram, na carga eléctrica, uma forma de representar dados, substituindo as peças do ábaco pelos bits² do computador moderno. A criação do bit marcou a transição do sistema decimal (10 números primários de zero a nove) para um sistema binário computacional (apenas dois números, o zero e o um)³. De uma maneira simples, um computador opera através da permanente mudança de estado de milhões de bits ligados ou desligados.⁴

Alan Turing⁵ (1923-1954) está ligado à era moderna dos computadores ao ser referenciado como o criador da Universal Turing Machine. Este matemático afirmou que o seu projecto seria o primeiro protótipo/modelo de inteligência humana através da realização do "Turing Test",⁶ onde surge a ideia de que a inteligência artificial seria uma realidade, no início do séc. XIX.

O Teste de Turing consistia na organização de uma série de dispositivos onde o objetivo era perceber se a máquina conseguia iludir um grupo de pessoas, ao ponto de estas pensarem que se tratava de um homem, o que pressupunha que o computador conseguia simular os processos humanos. Se o computador atingisse esse objetivo, seria possível desenvolver a "inteligência artificial"⁷ que apoiaria o Homem em tarefas cada vez mais complexas.⁸

1. O Projecto Da Máquina Analítica Nunca Se Materializou, Devido Principalmente A Limitações Financeiras. Se Alguma Vez Fosse Construída, A Máquina Analítica Teria Cerca De 30 Metros De Comprimento E 10 Metros De Largura, Movido Por Um Motor A Vapor E Aceitava Não Só Os Dados (Por Exemplo, Às Dimensões De Um Triângulo) Mas Também Os Programas Ou Funções (O Cálculo Da Área Desse Triângulo).

2. O "Bit" É Uma Unidade De Informação, O Termo Surge Por Volta De 1949, Inventado Por John Tukey. Disponível Em: Foldoc.org/Bit (Janeiro 2010)

3. (Woodward + Howes, 2005, P. 2)

4. A Eniac (Electronic Numerical Integrator And Computer) Foi A Primeira Máquina, Totalmente Programável, Capaz De Resolver Qualquer Problema Matemático. Criada Pelo Exército U.s.a, Em 1946, O Eniac Era Capaz De Adicionar 5000 Números Por Segundo.

5. Alan Mathison Turing (1912- 1954) matemático, lógico, criptoanalista e cientista da computação britânica. Influente no desenvolvimento da ciência da computação e proporcionou uma formalização do conceito de algoritmo e computação com a máquina de Turing, desempenhando um papel importante na criação do moderno computador.

6. Teste de Turing é um teste proposto por Alan Turing na sua publicação de 1950 denominada por "Computing Machinery and Intelligence" cujo objetivo era determinar se máquinas podem exibir comportamento inteligente.

7. Inteligência Artificial Ou (Ai) É Um Estudo De Campo Na Ciência Da Computação. Ai Pode Ser Visto Como Uma Tentativa De Implementar Nos Computadores Os Aspectos Do Pensamento Humano. Também É Definida Pela Resolução De Qualquer Problema Através Do Computador. O Termo Foi Cunhado Pelo Professor John Mccarthy Stanford. Disponível Em: Foldoc.org (Janeiro 2010)

8. Mitchell + Mccullough, 1995:P.393

Gordon Pask¹ (1928-1996), na década de 60, procura uma aproximação entre a arquitetura e a cibernética², baseado no sistema cibernético de Norbert Wiener (1894-1964). Wiener acreditava que o homem podia ser descrito em termos mecânicos e eléctricos e as máquinas podiam ser concebidas a partir desses dados de forma a imitar os comportamentos e pensamentos humanos, em ambientes cibernéticos. No entanto, Pask põe em causa esta teoria, por não ter em conta o papel do utilizador do espaço arquitetónico, ignorando assim o seu impacto, fator importante na percepção da arquitetura. Este é um dos obstáculos a uma consensual aceitação das capacidades do computador na sociedade.

Os anos 60 e 70 constituem um período de adaptação e desenvolvimento dos sistemas de programação e simulação, mas foi só a partir da década de 80 que a implementação de sistemas computacionais atingiram algum significado no processo arquitetónico. Os principais exemplos de projectos desenvolvidos com a colaboração dos sistemas de computação apresentam-se a nível teórico, tal como o trabalho de Cedric Price (1934-2003). Exemplo disso é o projecto Generator³, em que se utilizaram as capacidades do computador moderno para construir um edifício-protótipo, que apresentava a possibilidade de ser alterado consoante as exigências dos seus ocupantes, através de sistemas mecânicos.

Nesta época, a utilização dos computadores começou a difundir-se rapidamente em várias áreas da sociedade (industriais, empresariais, etc.), não só devido ao seu desenvolvimento técnico, mas pelo fato de haver uma preocupação em permitir o acesso mais fácil a pessoas não especializadas na matéria e também porque a sua aquisição era possível a custo mais reduzido.

1. Gordon Pask, Psicólogo Inglês, Foi Uma Das Mais Importantes Figuras No Domínio Da Cibernética Britânica E Internacional in [Http://Sigarra.up.pt/Faup/Noticias_geral.ver_noticia?P_nr=678](http://Sigarra.up.pt/Faup/Noticias_geral.ver_noticia?P_nr=678)

2. O Termo Foi Utilizado Norbert Wiener No Livro, *Cybernetics, Or Control And Communication In The Animal And The Machine* (1948). Originalmente, A Cibernética Inspirou-Se Na Engenharia Eléctrica, Na Matemática, Na Biologia, Na Neurofisiologia, Na Antropologia E Na Psicologia Para Estudar E Descrever As Acções Dai Resultantes. Destina-Se A Entender As Semelhanças E As Diferenças Entre O Funcionamento Interno De Processos Orgânicos E As Máquinas, Através Da Formulação De Conceitos Abstratos Comuns Em Todos Os Sistemas.

3. Este Projecto Teórico, De 1976, Pode Ser Considerado O Primeiro Edifício Cibernético, Pela Introdução De Sistemas Que Permitiam A Interação Do Utilizador Com O Edifício

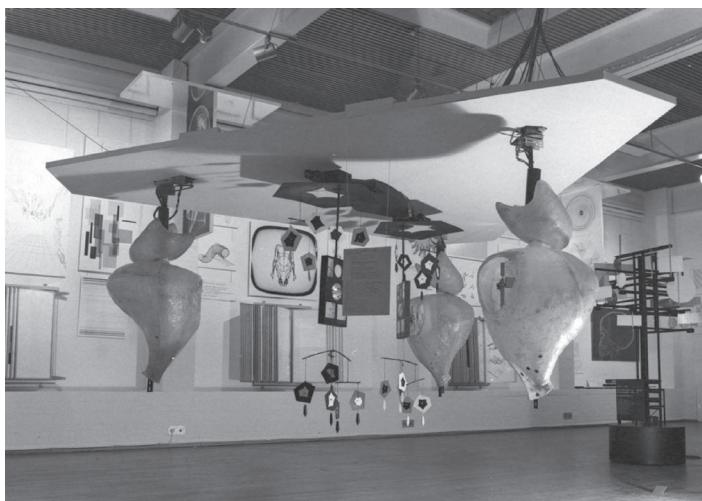


fig.23



fig.24

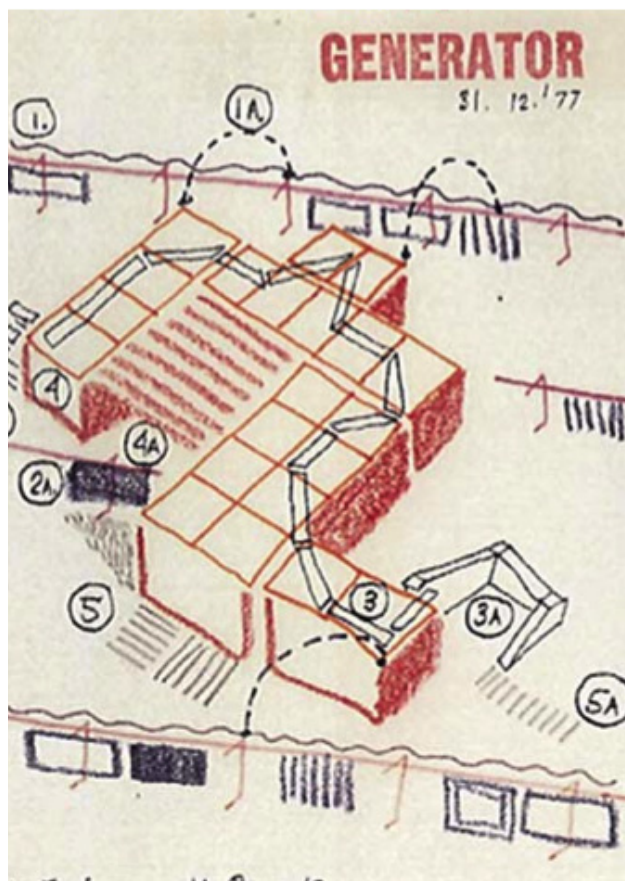


fig.26

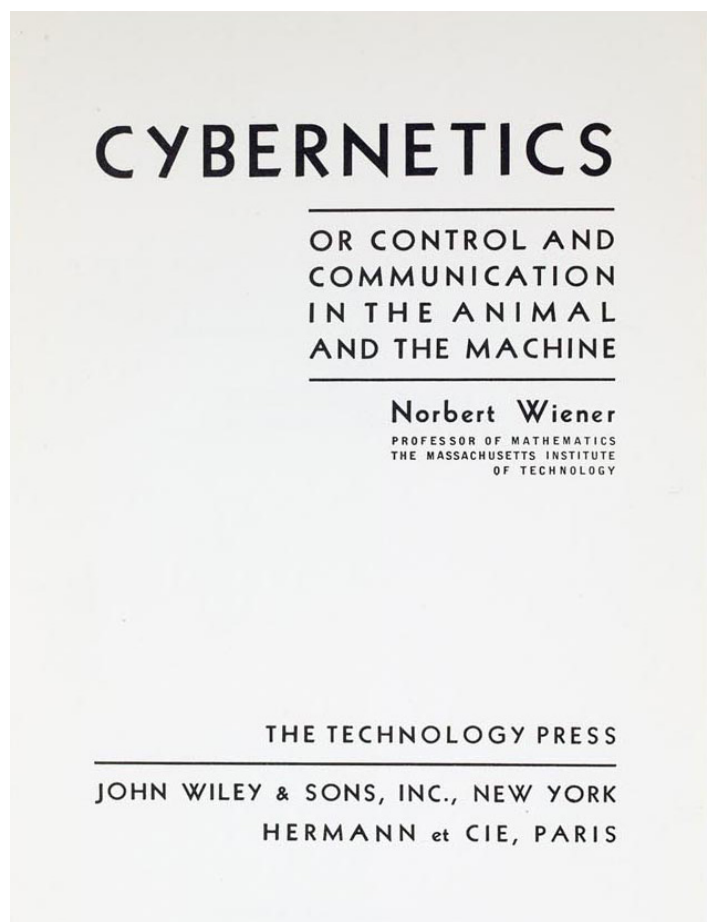


fig.25

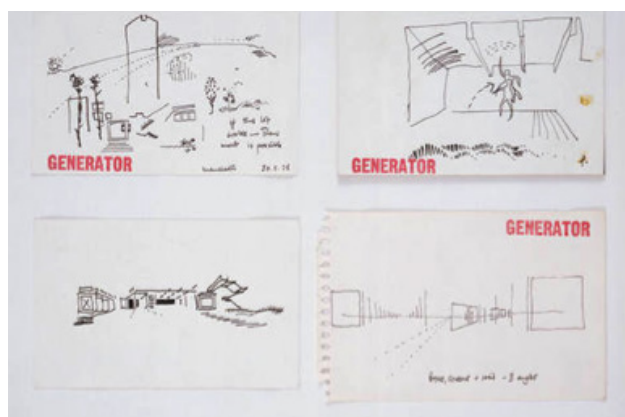


fig.27

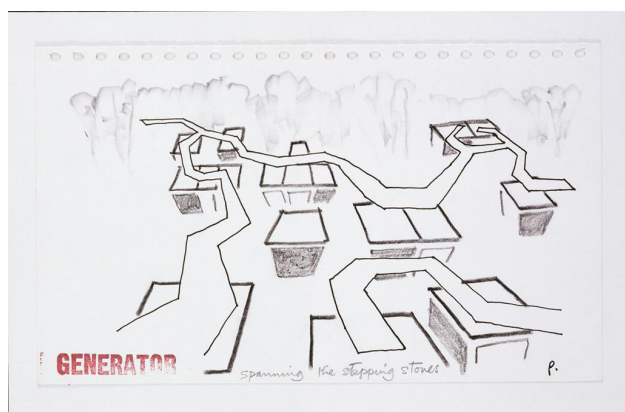


fig.28

fig_23
Gordon Pask,
"The Colloquy of
Mobiles" Londres
(1968) - Nicolas
Schoffer's

Este é o ponto inicial para a democratização do uso do computador e para a sua grande difusão na sociedade moderna. De fato, o "computador permitiu a reavaliação do tempo e do espaço, na transição da condição pré-industrial até ao ciberespaço, durante cerca de um século."¹

fig_24
Turing Machine
(1936) Alan Turing

Este tema originou um longo e fervoroso debate entre opiniões divergentes, desde os mais cépticos, que acreditavam que o exercício abstrato do computador promovia o afastamento do arquiteto ao processo construtivo, até aos mais entusiastas, que acreditavam que esta nova metodologia permitia introduzir um maior rigor no trabalho do arquiteto, conseguindo dessa forma mais respeito por parte dos clientes e dos promotores, ao apresentar desenhos, orçamentos e planos de produção mais próximos da realidade. Entre os mais intervenientes enquadra-se Frank Gehry, perceptível quando confrontado com a resistência generalizada do uso do computador na arquitetura.² Para este autor, a conversão dos desenhos e modelos na forma arquitetónica real, permit ao arquiteto preencher o centro do processo construtivo porque. "(...) aumenta a precisão, elimina problemas de coordenação e ajuda na identificação de potenciais áreas de dificuldade no início do processo."³

fig_25
Capa do Livro de
Nobert Wiener
- CYBERNETICS
(1948)

fig_26
Ilustração de
Cedric Price
Generator (1976)

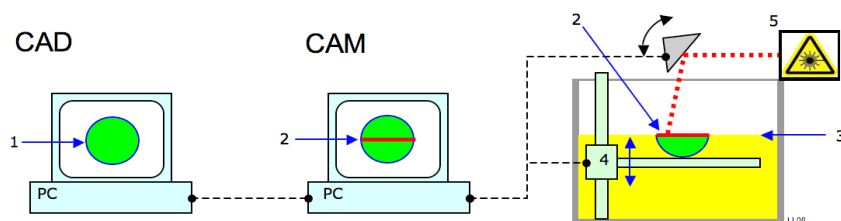
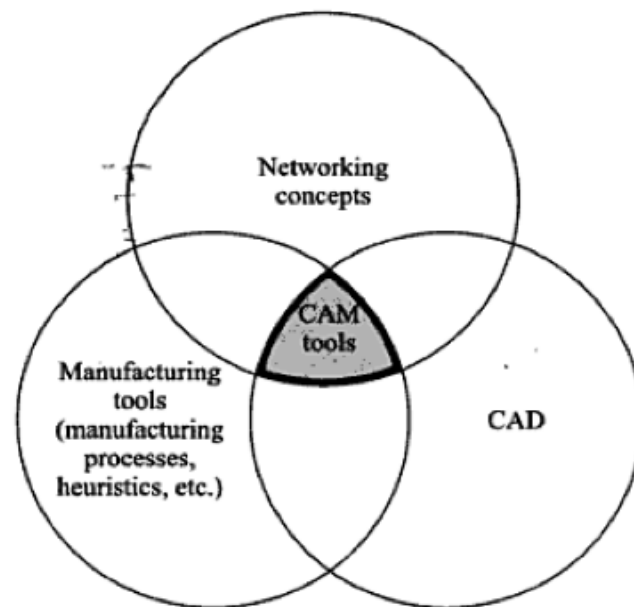
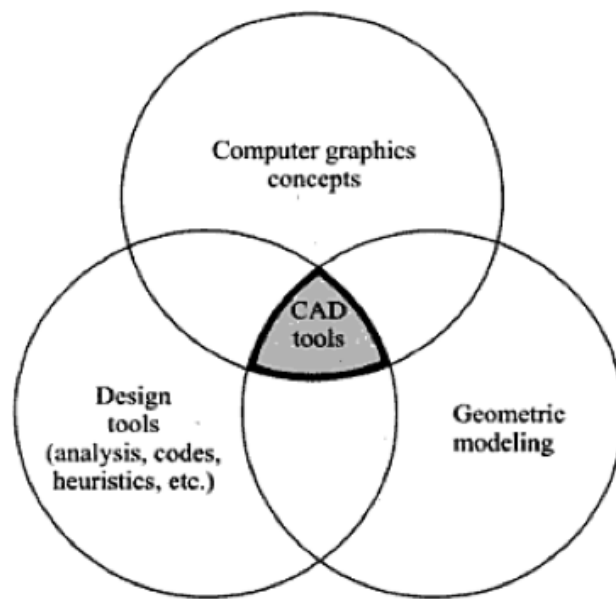
O mais fiel acesso ao computador e consequente democratização do seu uso veio permitir o alargamento do conhecimento que o arquiteto tinha sobre as ferramentas digitais: "Antes do computador, o conceito e o processo arquitetónico eram difíceis de materializar. Combinando vários programas, formas complexas podem ser mostradas num formato visual que é claro, descritivo e animado."⁴

fig_27
Ilustração de
Cedric Price
Generator (1976)

Por estas razões, não é possível imaginar, nos dias de hoje, um arquiteto que não utilize um computador para apoiar o seu trabalho, ainda que a maneira como este tira partido dele possa ser ainda alvo de discussão.

fig_28
Ilustração de
Cedric Price
Generator (1976)

1. Steele, 2001: P.21
2. James Steele, P.130
3. James Steele, P.77
4. James Steele, P.216



2.3 O CAD / CAM

A par do desenvolvimento da computação, os arquitetos começaram a perceber a potencialidade dos recursos digitais, no apoio à prática da arquitetura.

Os primeiros sistemas CAD foram desenvolvidos para a indústria automóvel e aeroespacial. Posteriormente, as aplicações CAD foram adaptadas e instaladas em alguns escritórios de arquitetura. Inicialmente, estes sistemas vieram apoiar o arquiteto nas tarefas mais rotineiras e demoradas, tais como, a repetição de desenhos, pequenas alterações e criação de perspetivas. Nesta primeira geração, os sistemas CAD eram operados principalmente por técnicos especializados, o que se alterou com a introdução do sistema Sketchpad¹. A facilidade que este recurso possibilitou à produção de sistemas gráficos contribuiu para introduzir o computador na concepção da arquitetura. Pela novidade que operou, este sistema é frequentemente citado como o primeiro sistema CAD interativo, pois combinava a manipulação de dados com telas gráficas.

Assim, a partir dos anos 80, gabinetes de arquitetura e engenharia começaram a adquirir sistemas CAD com maior frequência e, nos EUA e em Inglaterra, estes passaram a ser utilizados em algumas escolas de arquitetura, mas ainda como atividade secundária.²

Podemos considerar que os sistemas CAD ao apoiarem o Design e a Arquitetura através de representações, análises, simulações e explorações de geometrias tridimensionais, permitem também a otimização e automação do trabalho arquitetónico. Com as ferramentas digitais criam-se objetos, mesmo antes de estes serem fisicamente construídos, sendo que "o computador ganha autonomia suficiente para fazer emergir modelos arquitetónicos, autorizados a evoluir dentro de condições limite, parâmetros predeterminados pelo arquiteto, (...)"³

1. Foi Um Inovador Programa De Desenho Computadorizado Escrito Por Ivan Sutherland (1963) Para A Tese De Doutoramento Deste No Mit. Pode-Se Mesmo Afirmar Que O Sketchpad É O Programa Que Despoleta O Cad.
2. Zeid, 2009: P. 8-10
3. Aguiar, 2008: P.61

O CAM pode ser associado à manufatura de objetos através da informação cedida pelos sistemas CAD, ultrapassando os limites do projecto e intervindo diretamente na produção física. Assim, apresenta-se como um processo tecnológico de fabrico computadorizado. Podemos dizer, então, que a aplicação dos sistemas CAD/CAM na arquitetura pode representar o grande avanço tecnológico dos sistemas digitais, pois permite redefinir todo o processo metodológico e concetual da criação. Mas, antes de explorar os processos digitais que a arquitetura atual pode implicar, importa contextualizar o percurso do sistema CAD/CAM, para percebermos melhor a sua integração nesta disciplina.

Com o desenvolvimento dos Personal Computers (PC), os sistemas CAD tornaram-se mais acessíveis às pequenas empresas e aos arquitetos independentes, provocando uma mudança radical na cultura arquitetónica. Mitchell identifica esta mudança como um ponto de inflexão na história do CAD na arquitetura, pois até então, “as possibilidades mais amplas eram largamente ignoradas”.¹

Durante a década de 90, podemos dizer que o CAD se torna essencial para todos os escritórios de arquitetura, tornando-se assim sinónimo de produtividade e exequibilidade rápida de um projecto. A introdução da modelação 3D, da renderização e da capacidade de comunicação do computador é possível graças ao crescente desenvolvimento e poder dos microprocessadores. Nesta fase, é possível aceder a vários tipos de sistemas CAD, como por exemplo ao programa Archicad, onde através do desenho 2D e da modelação em 3D, o usuário consegue representar o edifício, adoptando sistemas e materiais de construção predefinidos, criando um modelo virtual do seu projecto.

Segundo Asanowicz², o CAD tem três gerações: a primeira é identificada como um programa de computador de apoio à concepção e ao desenho, sem interfaces gráficas, apoiado apenas no desenho bidimensional. A segunda, possuindo já interfaces gráficas, transforma o CAD numa máquina de desenho mais desenvolvido ao introduzir o desenho tridimensional. A terceira geração ultrapassa as representações 2D e 3D do projecto, avançando para a utilização de novas ferramentas no apoio direto da concepção arquitetónica.

1. Mitchell, 1990: P.48

2. Professor Na Faculdade De Arquitetura E Tecnologia Da Universidade De Bialystok, Na Polónia

O aparecimento de ferramentas ligadas diretamente à arquitetura, justificou a introdução do termo CAAD¹, acrescentando ao CAD um conjunto de especificidades necessárias para apoiar um escritório de arquitetura: processamento de imagens, modelação 3D, renderização e animação², apenas direcionado para esta área específica.³

Assim, o CAAD apresenta-se como uma resposta às dificuldades relacionadas com a construção de modelos digitais, numa tentativa de melhorar a inteligência dos sistemas computacionais e de responder às necessidades concretas dos arquitetos.⁴ No mesmo contexto, podemos referir outros desenvolvimentos relevantes, como os sistemas ligados em rede que permitem a elaboração do mesmo projecto, ao mesmo tempo, por pessoas em locais distintos e a utilização de interfaces interativas, ou como as luvas de dados, utilizadas experimentalmente para transformar gestos espaciais em malhas 3D.

Se o CAD é utilizado principalmente para análise e representação do objeto projectual, o sistema CAM aplica-se principalmente na materialização desse mesmo projecto. Este sistema ultrapassa o projecto de arquitetura, para fazer parte da construção do próprio objeto, tirando partido das capacidades dos sistemas digitais. Na generalidade, o arquiteto ainda tende a usar a computação 3D na fase de geração do projecto ignorando o potencial dos sistemas CAM para fins construtivos. Ainda assim, surgem vários arquitetos que aproveitam a potencialidade destes sistemas,

1. Computer Architectural Aided Design

2. A animação implica a introdução de uma nova dimensão: o tempo. no processo arquitetónico, este elemento permite criar animações dos modelos 3d, permitindo percorrer o espaço do modelo tridimensional..

3. Apesar da evolução deste termo, é comum continuar a referenciar o termo cad como designação de modelação tridimensional de apoio à arquitetura.

4. Asanowicz, 1999: P. 94

como Mark Burry¹, que se apoia na utilização do computador para a produção da forma final do edifício como é o caso da sua participação no projecto da Sagrada Família², onde, a partir dos desenhos de Gaudi, introduz o sistema CAD para definir as suas complexas formas em 3D³. Mais tarde, Burry recorre ao sistema CAM para apoio à fabricação dos blocos de granito utilizados na obra. Desta forma, este arquiteto potencia os sistemas digitais disponíveis para ultrapassar os problemas complexos da construção desta catedral.⁴

Apesar de os sistemas CAD/ CAM ainda não constituírem um método recorrente na indústria da construção e, por isso mesmo, ainda não serem vistos como norma na arquitetura, no design industrial este é já um modo de produção corrente. Na arquitetura, estes sistemas permitem assim atingir o ideal de customização personalizada, integrada na política de rapidez de execução e de preço reduzido.

A contínua evolução das tecnologias CAD/CAM levou ao desenvolvimento de uma série de blocos construtivos, que podem ser usados para configurar sistemas diferentes servindo, assim, de apoio a inúmeras atividades de desenvolvimento formal (desenho, neste caso) e de produção.

Fundamentalmente, o núcleo dos sistemas de desenho e produção computadorizados existem em três componentes principais: o CAD (desenho auxiliado por computador), que consiste num desenho digital interativo e na análise do ambiente para a execução de modelos geométricos digitais do objeto; o CAM (produção auxiliada por computador) que corresponde a um software direccionado para a produção com a ajuda do computador, através do qual o utilizador especifica como o modelo digital será produzido ou cria uma série de instruções digitais para controlar as máquinas; e, por último, o CNC (uma ou mais máquinas controladas numericamente por computador) que traduz e executa estas instruções digitais para as máquinas que fabricam o objeto.⁵

1. Mark Burry, arquiteto da Nova Zelândia, Professor de Inovação e Diretor do Laboratório de Arquitetura de Informação Espacial e diretor fundador do Instituto de Pesquisa Design da RMIT University, Melbourne, na Austrália. Arquiteto executivo e pesquisador da Sagrada Família em Barcelona, Catalunha, Espanha.

2. Sagrada Família, catedral localizada em Barcelona, do arquiteto Antoni Gaudi. Esta obra não foi terminada pelo seu autor, encontra-se ainda em construção, a complexidade dos desenhos deixados por gaudi, têm dificultado o trabalho dos seus sucessores.

3. Barrios, 2005, p.394

4. Idem

5. Idem

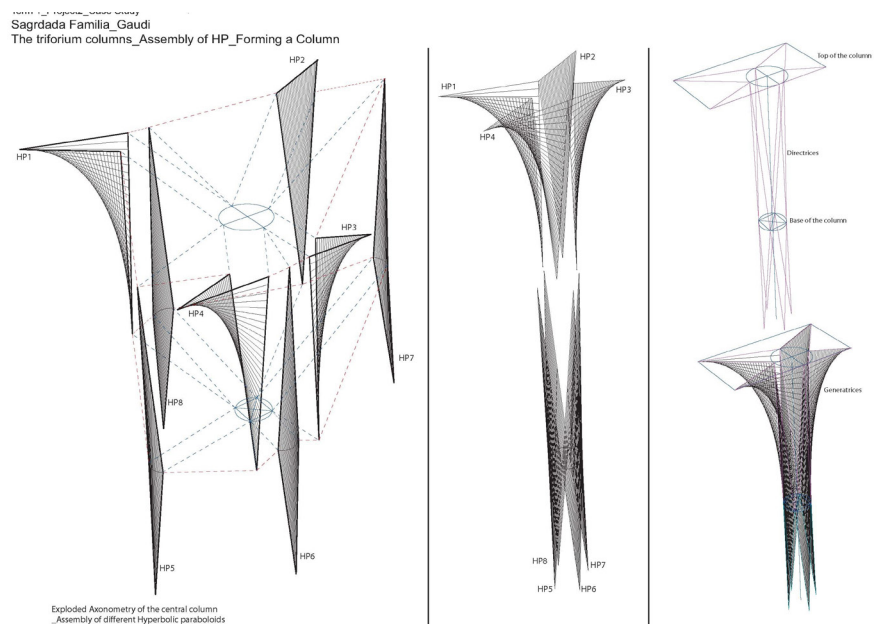
O sistema de desenho interativo permite ao arquiteto criar modelos digitais sofisticados. Estes ambientes digitais têm um formato avançado e capacidades sólidas de modelação, que sustentam o desenho paramétrico, a modelação e a montagem.¹ O histórico do design pode ser recuperado e as etapas modificadas, devido à estrutura hierárquica destes sistemas. São ativados de forma dimensional e suportam aplicações de design orientadas para materiais específicos, como por exemplo, a modelação de folhas de metal.

As diferentes máquinas que são controladas numericamente (CNC) incluem máquinas de desvaste, perfuração, corte a laser, serras, jatos de água, máquinas de descarga elétrica, e de soldar, entre outras. Já os sistemas CAD/CAM mais completos podem incluir um ou mais pacotes de análise, normalmente encontrados no CAE (sistema de engenharia auxiliado por computador). Alguns sistemas adequam-se bem à avaliação do desenho digital, incluindo análises ergonómicas, análises de custo, etc.

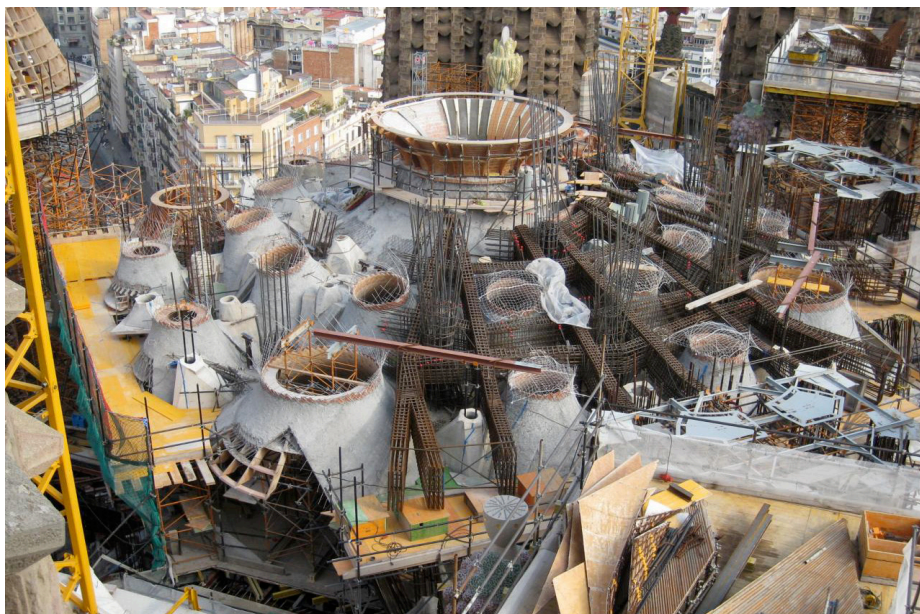
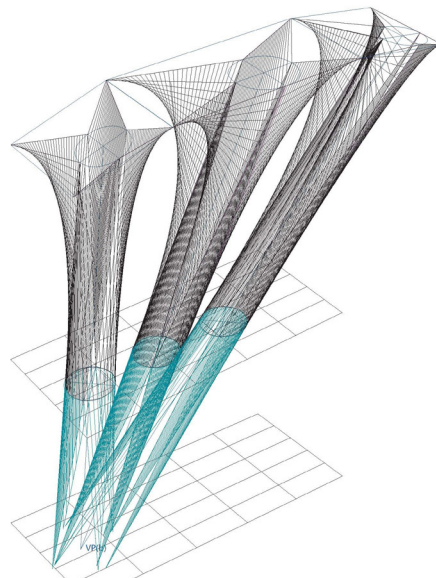
Muitos sistemas CAD/CAM também incluem tecnologia para elaboração de protótipos para avaliação, diretamente de um modelo de computador. O grande poder das tecnologias CAD/CAM destaca-se quando os sistemas base estão inseridos num sistema em rede, com informação que inclui o espectro completo dos diferentes participantes envolvidos no planeamento, design, fornecimento, instalação, marketing, distribuição e utilização de um produto.²

1. Barrios, 2005, p.395

2. Schodek, 2005. P.4



Sagrada Família_The triforium module_Associative Geometry



fig_32
"triforium
columns" estudo
de colunas
para a Sagrada
Família - Mark
Burry

2.4 Conclusão

O computador tornou-se, ao longo dos últimos tempos, uma ferramenta essencial para a sociedade, em praticamente todas as suas áreas de ação. Tanto a nível profissional, como académico, e até na vida privada, o computador faz parte do dia-a-dia, tornando-se, de uma forma geral, uma mais-valia para o desenvolvimento de cada atividade.¹ Como vimos no capítulo 2.2, a democratização do computador, associado à diminuição de custos bem como ao acesso mais facilitado por não profissionais, está na base da evolução da sua relevância na sociedade. Associado a este fator, a internet é uma das protagonistas desta revolução tecnológica, ao permitir a globalização da informação. "Até o final do século XIX, o impacto da revolução industrial foi muito sentida na arquitetura e urbanismo. (...) No final do nosso século, é a revolução da informação que está metamorfoseando a arquitetura e o desenho urbano."²

Os avanços do desenho assistido por computador (CAD) e as tecnologias de manufatura auxiliada por computador (CAM), especialmente desde meados dos anos 90, passaram a ter um grande impacto na prática de projecto e na construção. Os novos meios de fabricação permitiram a produção e construção de formas mais complexas, que até então eram difíceis e dispendiosas de projectar, produzir e montar. "Integrar o CAD com o computador assistido e fabricação [...] fundamentalmente redefine a relação entre a concepção e produção. Ele elimina muitas das restrições geométricas impostas pelos tradicionais processos de desenho e produção de formas curvas mais complexas e mais fáceis de manusear, por exemplo, e reduzir a dependência do padrão, os componentes produzidos em massa. [...] preenche a lacuna entre concepção e produção que abriu quando os designers começaram a fazer desenhos."³

65

fig_34
Vista aérea da
Sagrada Família
de Antoni Gaudí
- em construção

1. Steele, 2001: P. 8
2. Zellner, 1999: P. 8
3. Kolarevic, 2003: P.89

No que diz respeito ao universo da arquitetura, o computador transformou a metodologia do processo arquitetónico e a materialização das ideias do arquiteto. Este tema veio dividir os intervenientes neste processo, entre os mais cépticos, que consideravam que estes novos métodos distanciavam o arquiteto do processo construtivo, e os mais optimistas, representado por exemplo por Frank Gehry, que atribuíam um maior rigor e maior potencialidade da arquitetura resultante destes processos digitais, como foi visto anteriormente, no capítulo 2.2.

A forma como as tecnologias CAD foram integradas no campo da arquitetura permite perceber de que maneira pode influenciar a prática da arquitetura, nomeadamente na tectónica, ou seja, na maneira como o arquiteto trata o pormenor arquitetónico e na sua relação com o material. Com o advento dos processos de produção automatizados e a possibilidade de traduzir diretamente criações virtuais em artefatos/modelos físicos, aumentou a possibilidade de explorar uma tectónica digital: a sensibilidade para uma arquitetura definida e fabricada digitalmente. Atualmente, os sistemas CAD/CAM não servem apenas para ajudar o arquiteto a expor as suas ideias, mas também para potenciar as novas materialidades tectónicas que estão ao seu alcance. Torna-se possível pensar, definir, experimentar ou produzir a própria arquitetura através do computador, fato que parecia impensável aos olhos do homem do séc. XIX. O que a Revolução Industrial permitiu, ao introduzir mudanças tecnológicas no processo produtivo, atinge nesta fase o seu apogeu, ao possibilitar a pré-fabricação de peças iguais na produção de artefatos individuais, ainda que produzidos também em massa.

Após meio século de desenvolvimento dos sistemas CAD, ainda que seja em níveis de exploração diferentes, é inegável que o computador se transformou numa ferramenta essencial na metodologia de qualquer empresa ou atelier ligado à construção. Além de introduzirem alterações significativas na concepção da ideia arquitetónica, os sistemas CAD assumiram também um papel importante na gestão de cada projecto, ao permitem funções como o planeamento e a programação de atividades específicas, ou a medição e orçamentação dos vários elementos, em colaboração com as diversas especialidades que constituem o campo arquitetónico.

A internet, por sua vez, veio facilitar a comunicação entre arquitetos, entre estes e o público em geral, e veio também estimular e partilhar culturas arquitetónicas. Assim, a globalização da informação, neste caso particular da arquitetura, foi também importante na alteração da concepção dos edifícios e na maneira como estes eram vistos e/ou vividos pelo Homem.

Como conclusão, podemos assumir que o sistema CAD apoia o desenho do projecto/objeto, sendo que o sistema CAM procura encontrar o método de produção para o desenvolver. No final, é a máquina CNC que põe em prática o processo desenvolvido ao criar o objeto final. A conjugação dos sistemas CAD / CAM / CNC não faz parte ainda da realidade mais comum dos gabinetes, mas é possível ganhar consciência da sua potencialidade ao observar exemplos dessa utilização, como a construção da Catedral da Sagrada Família, na interpretação do projecto original de Antoni Gaudi por Mark Burry, tal como foi visto no capítulo 2.3 deste trabalho.

A conexão entre as ferramentas digitais e os seus utilizadores, tanto a nível físico como psicológico, permite entender a discussão gerada à volta das consequências do uso do computador na arquitetura.¹ Se por um lado, estas novas ferramentas permitem a reprodução cada vez mais fiel da ideia arquitetónica com grande liberdade de experimentação, por outro podem condicioná-la, pondo em causa essa mesma liberdade, por exemplo, quando as ferramentas incutem modelos ou formas já predefinidas.

PARTE II

COMPLEXIDADE FORMAL NA ARQUITETURA

CAPITULO 3

Na segunda parte deste trabalho realizámos uma pequena revisão literária dos sistemas e ferramentas utilizadas na evolução da arquitetura digital, a tecnologia CAD/CAM. Esta parte aborda os mais recentes avanços tecnológicos digitais aplicados na concepção e fabricação das práticas de projeto e produção arquitetónica. Os arquitetos sempre mostraram um fascínio por formas complexas, envolvendo curvaturas e outras geometrias extremamente difíceis de construir, onde o maior desafio se encontra na concretização dessas ideias.

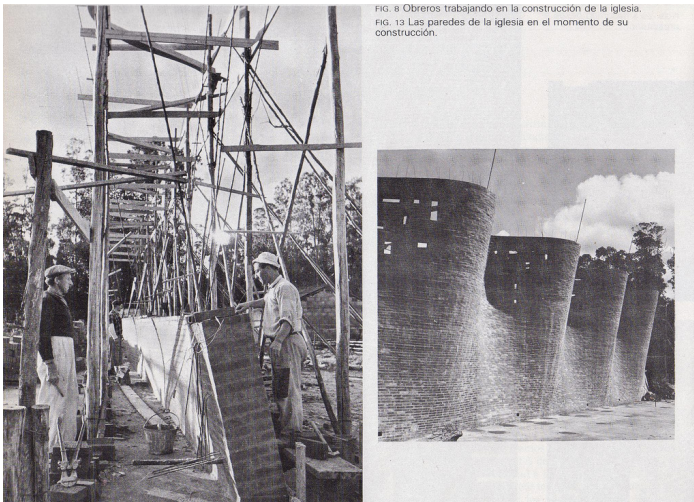


fig.35



70 fig.36



fig.37



fig.38

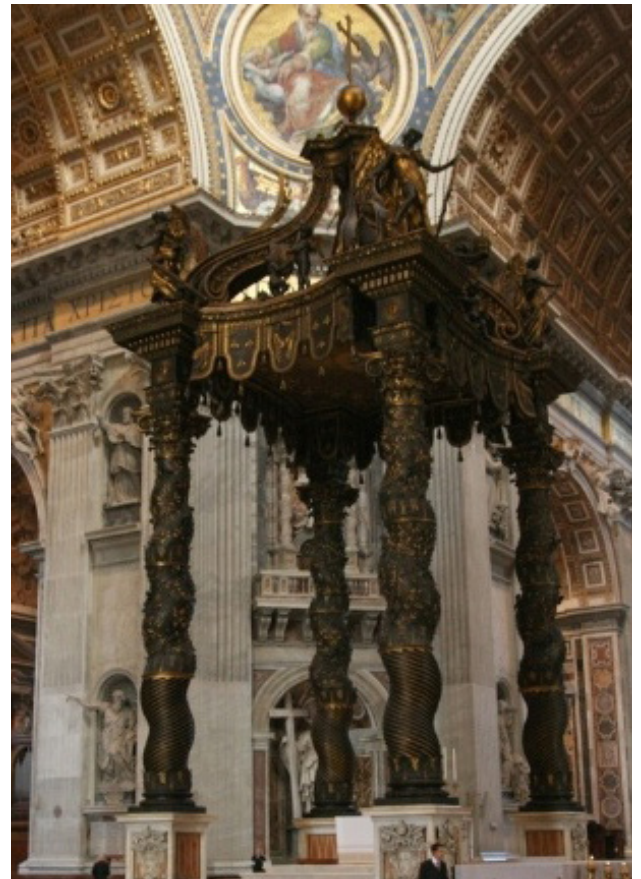


fig.39



fig.40

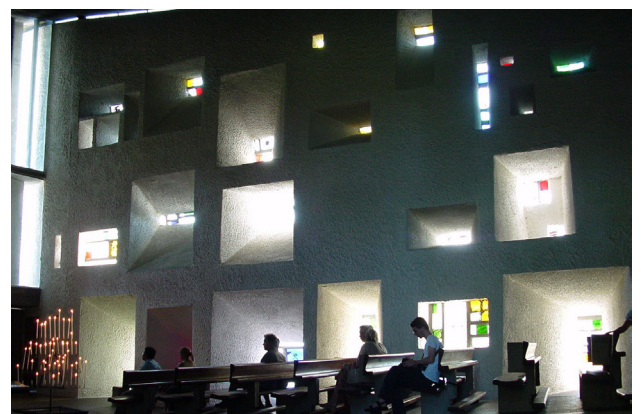


fig.41

fig_35
Construção da
Igreja "Christ the
Walker" (1956)
Eladio Dieste

fig_36
Terminal TWA
JFK (1962) Eero
Saarinen

fig_37
Palazzetto dello
Sport (1957) Pier
Luigi Nervi

fig_38
Palazzetto dello
Sport (1957)
Pier Luigi Nervi
- Maquete do
Interior

fig_39
Colunas de São
Pedro (1634)
Gianlorenzo
Bernini

fig_40
Notre Dame du
Haut (1954) Le
Corbusier

fig_41
Notre Dame
du Haut (1954)
Le Corbusier -
Interior

3.1 A FORMA NA Arquitetura DIGITAL

A procura pela curva, superfícies e formas complexas sempre foi desígnio do arquiteto. Esta ideia pode ser associada a reivindicações de uma nova linguagem arquitetónica, encarada como uma revisitação de formalismos expressivos, amplamente exploradas no passado: desde os dosséis das colunas salomónicas da basílica de São Pedro Roma (1623-1634) de Gianlorenzo Bernini, à Sagrada Família em Barcelona (1833-) de Antoni Gaudí, às paredes sinusoidais¹ da Igreja "Christ the Worker" (1950-1956) no Uruguai, de Eladio Dieste; do Palazzetto dello Sport (1956-1957) em Roma, de Pier Luigi Nervi; o terminal da TWA, JFK (1956-1962) e aeroporto de Dulles (1958-1962) de Eero Saarinen, ou correntes como a Art Nouveau², o Arts and Crafts³, o Jugendstil⁴ e o Organicismo⁵ que citam e demonstram a panóplia de vontades arquitectónicas em executar geometrias, ou complexas expressões físicas patentes na história da arquitetura.⁶

Muitos destes movimentos foram baseados em princípios biomórficos que tinham pouco a ver com razões funcionais para resolver geometrias complexas. Autores como Ferdinand Cheval, Hector Guimard, Antonio Gaudi, e Victor Horta fornecem exemplos de projectos de arquitetura que dependem de geometrias complexas. O Movimento modernista e as obras de Le Corbusier, em especial a Notre Dame du Haut, em Ronchamp, ou projetos de arquitetos como Hans Scharoun e Eero Saarinen são exemplo da exploração da "forma livre". Ao longo do tempo, muitas formas idealizadas por arquitetos nunca chegaram a ser construídas e outras, consideradas utópicas, foram apenas vistas em modelos físicos, pois defrontavam-se com limitações a nível de ferramentas digitais e de geometria para as concretizar.

1. Relativo a sinusóide que significa um seno geométrico em arco tomado por um círculo cujo raio é igual à abscissa.

2. Em Português Arte Nova, filosofia e estilo internacional de arte, arquitetura e especialmente em artes decorativas. Ocorreu na Europa principalmente entre 1890 e 1910.

3. Em português Artes e Ofícios, movimento estético Inglês, na segunda metade do século XIX defendia o artesanato criativo como alternativa à mecanização e à produção em massa. O objetivo era acabar com a distinção entre o artesão e o artista. Não utilizava os avanços da indústria e pretendia que todos os objetos fossem personalizados pelo artesão, dando origem à pessoa conhecida como designer.

4. Estilo de arquitetura e design, semelhante à Art Nouveau, popular nos países germânicos durante o final do século XIX e princípio do século XX.

5. Conceito de arquitetura moderna, influenciada pelas ideias de Frank Lloyd Wright.

6. Menges, 2012, P. 98

A evolução do desenho digital permitiu ultrapassar muitos obstáculos históricos na representação das formas geométricas. Exemplos disso são obras de Hans Luckhardt, de Herman Finsterlin e de J.J. Leonidov. Assim, o desenvolvimento de ferramentas para representar a informação projectual, o desenvolvimento de tecnologias para fabricar elementos complexos, o desenvolvimento de métodos de representação precisos, tais como a Geometria descritiva, o desenvolvimento da matemática diferencial, da geometria espacial e das teorias gerais relacionadas com superfícies curvilíneas, assim como o trabalho de alguns matemáticos como Karl Friedrich Gauss e G.F.B. Riemann, forneceram a base teórica para a compreensão das superfícies complexas.¹

Durante o início da década 90, alguns teóricos e pesquisadores de arquitetura, incluindo John Frazer² e Karl Chu³, a par de outros foram pioneiros na aplicação de crescimento natural, na diferenciação evolutiva e em processos morfogenéticos para produzir formas arquitetónicas e organizações espaciais lógicas. O trabalho destes, consistia em combinar sofisticados códigos algorítmicos computacionais com pesquisas biológicas e técnicas de otimização, assim como aplicações de diferentes formas de inteligência artificial na produção de complexos sistemas auto-reguláveis com características morfogenéticas e com comportamentos emergentes. Na maioria dos casos, as construções geométricas e espaços emergentes deste trabalho não foram construídos fisicamente, permanecendo basicamente no campo digital.⁴

Durante as últimas décadas, esta lógica de arquitetónica tem sido sistematicamente divulgada por inúmeras universidades, centros de investigação, (caso do MIT Institute) e progressivamente é enraizada nas aplicações projectuais e na prática arquitetónica mundial.

1. Shodeck, 2005 Pag.47

2. John Frazer, pioneiro em tecnologias de informática relacionados com arquitetura, urbanismo e design. Professor, desenvolve o seu trabalho na Architectural Association, em Londres, da Universidade de Cambridge, na Universidade de Ulster e na Universidade Politécnica de Hong Kong, onde foi professor catedrático Swire, chefe da Escola de Design e Diretor do Centro de Design Technology Research.

3. Karl Chu é diretor do estúdio Metaxy Arquitetura. Antes de assumir o cargo de professor na Escola de Arquitetura do Instituto Pratt, foi o fundador e diretor do Instituto de Arquitetura Genética na GSAPP, da Universidade Columbia, de Nova York. Além disso, também é co-diretor do Programa de Arquitetura biodigitais em ESARQ, Universitat Internacional de Catalunya, em Barcelona. Ele está envolvido na pesquisa e desenvolvimento de arquitetura genética e da ontologia da arquitetura dos mundos possíveis.

4. Menges, achim, 2012, P. 98

A reflexão teórica da geração algorítmica formal deu lugar à preocupação da execução física da mesma, sendo que é aqui que reside o desafio: como alcançar um ciclo completo de arquitetura digital, onde os processos projectuais encaixam-se perfeitamente com os cálculos estruturais de execução digital e onde os inovadores processos de fabrico e construção são ambos impulsionados pelo processos digitais. A resposta pode ser encontrada em primeiro lugar em ambientes digitais tais como a Parametrização e em segundo, nas práticas e ferramentas digitais de manufatura digital. Ambos conceitos desenvolvidos posteriormente neste trabalho.

Segundo Branko Kolarevic, na Era da Informação, como na Era Industrial, o desafio não é só como conceber edifícios, mas também arranjar soluções viáveis para os fabricar e construir. Este autor entende que estas condições provocam um novo pensamento arquitetónico. O software de concepção, baseado numa geometria não euclidiana, permite explorar a estrutura tridimensional com a consistência necessária para dar origem a novas possibilidades arquitetónicas.¹

A utilização de ferramentas digitais para o design de objetos, reais ou virtuais, tem sido apoiado pela infinidade de aplicações associadas ao CAD. Desenvolvido, principalmente, como um substituto digital do esboço manual para os desenhos técnicos de arquitetura e engenharia, o CAD transmite informação simbólica, tais como composições de formas, dimensões e tolerâncias com base em aplicações de convenções específicas. Na arquitetura, o CAD, assim como a geometria computacional, a computação gráfica e geometria diferencial, é a força motriz para a investigação em domínios computacionais. Além disso, o CAD ocupa uma ampla variedade de aplicações de design fazendo a ligação da modelação (geração digital de domínio digital), para a análise (mapeamento digital do domínio físico) e para a fabricação digital (geração física do domínio digital).²

1. Kolarevic, 2003, P. 57

2. Oxman, 2007, pp. 665



fig_42
Projecto
Dynaform,
Pavilhão BMW
na Alemanha,
(2001).

fig_43
Estrutura do
projecto
Dynaform, na
Alemanha,
(2001).

fig_44
Projecto
Dynaform,
Pavilhão BMW
na Alemanha,
(2001).

A abordagem mais utilizada pelos arquitetos para gerar formas, através de ferramentas computacionais, são ambientes de modelação digital que permitem o recurso fácil a pontos, linhas, splines, lofts, sweeps, etc. Existem vários softwares ou ambientes que permitem ao arquiteto recursos simples como os acima descritos, sendo que os mais relevantes são o Revit¹, Form-Z, Rhinoceros, Microstation, Catia², Maya, Solidworks³, Unigraphics e o Generative Components.⁴ O mais importante a reter sobre a utilização dos ambientes virtuais, é que todos eles têm capacidades e métodos de trabalhar diferentes, no entanto, muitos deles complementam-se. A título de exemplo, cita-se o caso da aplicação do software Catia. Este ambiente digital, inicialmente, foi desenvolvido para a indústria aeroespacial com a finalidade de suportar superfícies e modelação de sólidos complexos, e posteriormente foi adaptado à realidade arquitetónica. No entanto, este software não tem a capacidade para gerar renderizações hiper-realistas implicando o recurso à exportação para programas como o 3D Studio Max ou o Maya, que possuem características mais indicadas para esses efeitos e, que desta forma, o complementam.⁵ São muitos os arquitetos que se interessam por “geradores diretos”⁶ para definirem o aspecto formal dos seus projectos. Caso disso é o projecto “Frozen Waves”, Pavilhão BMW na Alemanha de Bernard Franken, onde as superfícies curvas são todas definidas automaticamente pelo software Maya. Veja-se o exemplo do Museu Guggenheim, que ao utilizar a capacidade do software Catia na gestão da informação complexa em 3D, Gehry conseguiu que outros elementos, tais como o projecto estrutural, o projecto electrónico, a orçamentação, a fabricação, etc. fossem integrados e desenvolvidos em simultâneo. Software como o Autocad, Archicad, Microstation e outros, foram inicialmente utilizados para representar com mais rigor o projecto e rentabilizar o trabalho que era necessário desenvolver, ou seja, o arquiteto

1. O Revit, que combina estruturas de dados que representam elementos de construção, o chamado Building Information Modelation - BIM

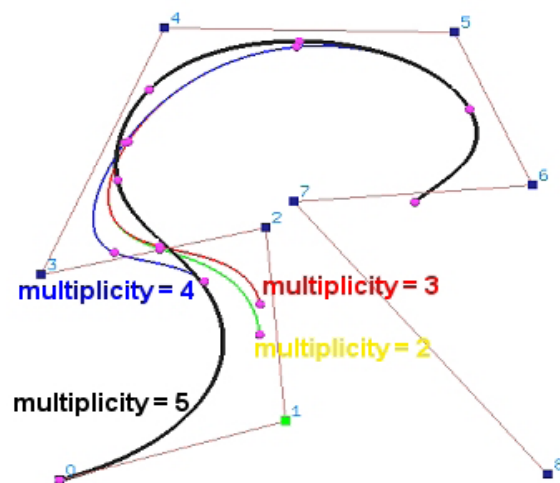
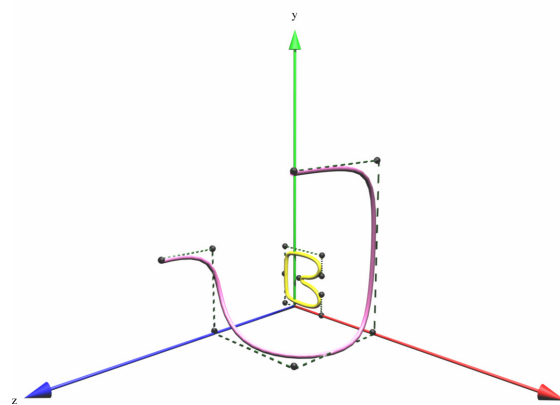
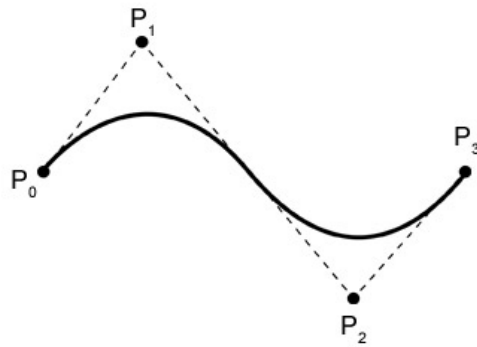
2. O software CATIA que impõe uma forte estruturação abstrata dos dados, com acesso a um solucionador de restrição e sofisticados métodos gráficos de depuração.

3. O SolidWorks que se tornou no programa padrão para a engenharia mecânica, praticamente inexistente na prática arquitetónica.

4. O Generative Components, que é um novo sistema da Bentley Systems Inc que permite que os projectos possam ser refinados através de uma modelação dinâmica e que permite manipular directamente a geometria, através da aplicação de regras. Pode capturar relações entre os elementos de construção, ou através da definição de formas construtivas e de sistemas complexos, através de algoritmos concisamente expressos

5. Schodeck, 2005 Pag.180

6. Schodeck, 2005 Pag.51



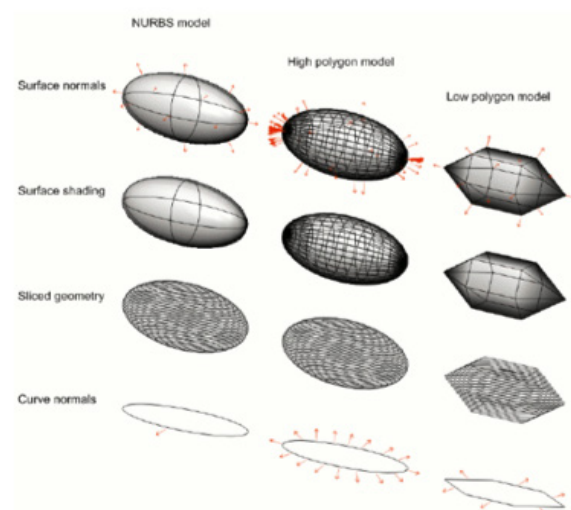
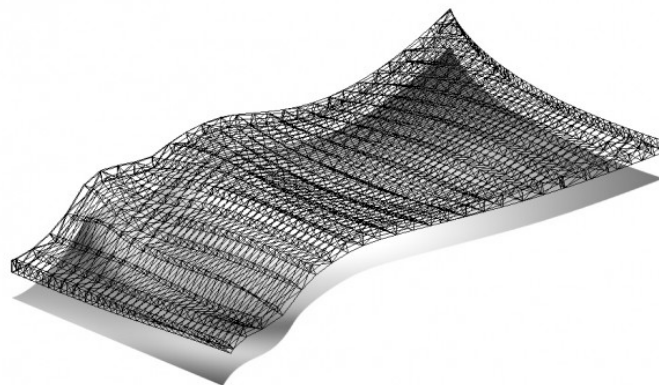
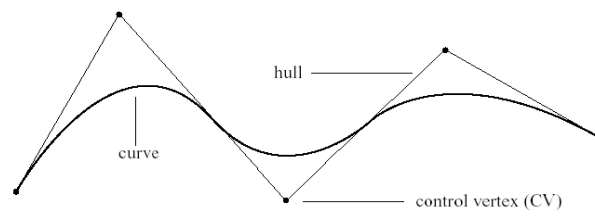
usava estas ferramentas para obter uma maior eficácia, rapidez e precisão dos seus projectos. Era a correcta representação que estava na base da utilização destes programas, e não a consideração de outras potencialidades que estes poderiam introduzir no processo. Contudo, verifica-se um crescente interesse na exploração dos sistemas computacionais que apoiam a arquitetura, não só no meio académico, como nos escritórios de arquitetura mais avançados.¹

Com a integração de recursos digitais avançados, muitos dos obstáculos históricos encontrados para conseguir representar e transmitir formas geométricas complexas, puderam ser ultrapassados. Os sistemas digitais actuais, elaborados para ambientes arquitetónicos, são baseados em regras matemáticas sofisticados e completamente automáticas na formulação de formas ou superfícies complexas.

No entanto, o desenvolvimento de sofisticados ambientes digitais de projecto origina um debate sobre a sua utilização e sobre a forma como são desenvolvidas as complexas formas geométricas e manipulações. Muitos dos projectos digitais concentrados em encontrar forma, também revelam especial interesse nos processos de construção, manufatura e eficiência estrutural.

As ferramentas digitais, abordadas neste trabalho, não se apresentam como solução para gerar projectos arquitetónicos, mas sim como meios para complementar o desenvolvimento e concretização das formas projectuais estabelecidas pelo arquiteto. O arquiteto procura inspiração para o desenvolvimento de formas, em diferentes fontes, sendo aquelas posteriormente desenvolvidas e representadas através de diferentes soluções, que variam de respostas diretas às exigências programáticas ou muitas vezes a relações metafóricas indescritíveis. O mesmo acontece com os ambientes digitais, pois quanto mais amplo for o domínio de ambientes computacionais disponibilizado ao arquiteto, maiores serão as suas possibilidades criativas para conceber e realizar os projectos.

1. Exemplo Normam Foster e Frank Ghery, estudados na última parte deste trabalho.



fig_48
Típica Spline

Evidencia-se a importância das tecnologias digitais, e em particular, das ferramentas que permitam o controlo rigoroso das formas livres. O termo “forma livre” constitui o que, no início dos anos 90, era a promessa de uma arquitetura livre da geometria ortogonal e da construção racional padronizada (não-euclidiana). O termo simboliza o potencial formal da produção do não-padrão, das formas executadas através da personalização em massa e da fabricação digital. Assim, a “forma livre” ilustra a complexidade construtiva de abordagens coerentes e de estruturação concetual. Relaciona-se com os meios de modelação (por exemplo, os sistemas NURBS) e métodos de produção de geometria complexa.¹ O sistema NURBS² é um modelo matemático desenvolvido pela indústria automóvel (1960), para representar, de um modo rigoroso, curvas e superfícies complexas de um objeto. Atingida uma modelação definida, construída por uma rede de splines³, as superfícies NURBS, representações matemáticas de geometria em 3D, são capazes de descrever com precisão qualquer forma⁴, e apresentam as mesmas características topológicas que os elementos que as compõem. Importa referir a flexibilidade topológica das splines e das superfícies NURBS é garantida pela sua definição vetorial. Assim, os modelos NURBS são geometricamente parametrizados ao nível da dimensão formal e completamente precisos na representação de complexas formas livres, características que contribuíram para uma rápida integração nos sistemas CAD/CAM.

fig_49
Exemplo de
Superfície NURBS

79

fig_50
Para exportar
um objeto liso
a partir de um
modelador
NURBS, para
uma máquina
de impressão
3D, a superfície
é convertida
numa malha de
polígonos.

1. Oxman, 2009 P.607

2. Pierre Bézier, engenheiro francês que desenvolveu e patenteou o termo “Bézier curves” - “NonUniform Rational B-Splines, ou NURBS, cresceu a partir do trabalho pioneiro de Pierre Beizer no final dos anos 1960 e início de 1970. Por causa do seu poder e flexibilidade, B-spline curvas e superfícies rapidamente foram adotadas. As superfícies NURBS acrescentam maior flexibilidade e precisão. (...) Como resultado, o NURBS é o padrão de grande parte do desenho assistido por computador e da comunidade gráfica interativa.” No livro de ROGER, 2001: XV

3. a modelação nurbs consiste então num sistema computacional de modelação geométrico tridimensional, que podemos encontrar em vários software, que utiliza para além das linhas convencionais, as linhas splines. estas linhas (splines) basicamente permitem desenvolver linhas curvas delicadas, (em aglomerado dão origem a superfícies curvas) definidas através de determinados pontos fixos. (em: Roger, 2001: xv, xvi)

4. estas formas podem ser compostas por linhas simples em 2d, círculos, arcos, superfícies curvas, sólidos e superfícies orgânicas. graças à sua flexibilidade e precisão, o modelo nurbs pode ser utilizado em qualquer processo, desde a criação e desenvolvimento até à produção de peças ou de construção de superfícies no espaço.

No entanto, existem outros meios de produção, nos quais as formas podem ser criadas por regras estruturais já predefinidas e que podem, por sua vez, originar diversas variações de formas paramétricas (conceito que será desenvolvido mais à frente). Através de um conjunto de dados e da condução de algoritmos, as abordagens arquitetónicas podem assumir uma enorme variedade nas intenções formais. Outra mais valia é a facilidade com que permitem conseguir uma relação racional com os métodos construtivos actuais. Um método, que também se fundamenta em regras estruturais, embora com uma abordagem diferente, são as “gramáticas formais”¹ que são utilizadas para definirem planos predefinidos. Outra abordagem, que também envolve regras estruturais para elaborar projectos, é por exemplo, a repetição de algoritmos para definir forma ou para apoiar na definição da estrutura projectual. A complexidade da utilização destes ambientes, muitas vezes, permanece em centros de investigação, pois implica um conhecimento alargado sobre como escrever algoritmos computacionais.

Importa fazer uma referência ao desenvolvimento de projectos através de ambientes paramétricos recurso que, na opinião de alguns autores, nomeadamente Daniel Schodek, parece ser o mais promissor para a prática arquitetónica.²

Este autor discute no seu livro “Digital Design and Manufacturing”, alguns aspectos sobre a implementação de métodos paramétricos. O uso de uma base de modelos, para definir a geometria que rege um projecto, tem provado ser uma abordagem útil à arquitetura. A título de exemplo, basicamente, um escritório de arquitetura fornece a descrição genérica da forma para que, posteriormente, possa ser desenvolvida e aperfeiçoada por equipas de engenheiros, equipas subcontratadas ou consultores. Este método está relacionado com a utilização de modelos de referência, com técnicas de modelação e de montagem conhecida como abordagens bottom-up e top-down,³ estratégias de projectos digitais.

1. Schodek, 2005 Pag.51

2. Schodek, 2005 Pag.220

3. Top-down e bottom-up são as duas estratégias de processamento de informações e ordenação do conhecimento, usado em varios campos, software, teorias científicas, gestão e organização. Na prática, eles podem ser vistos como um modelo de pensar e ensinar.

O conceito Arquitetura Digital pode ser muitas vezes enquadrado como uma mudança de paradigma e um estilo atualmente implementado no mundo contemporâneo. Nesta terceira parte do trabalho argumentamos que a arquitetura digital é um novo movimento em direção a uma mudança de paradigma e fundamentamos como um novo estilo arquitetónico, oriundo de técnicas e processos digitais aplicados no campo arquitetónico.

Este conceito refere-se aos processos de computação baseados processos de modelação e transformação formal acima referidos. A utilização de técnicas, tais como, algoritmos computacionais permite a geração formal e o desenvolvimento de um desenho arquitetónico. O processo que envolve arquitetura digital é principalmente explorado pela modelação de formas e superfícies, incluindo por vezes, o processo de encontrar formas através de processos generativos. Os algoritmos são desenvolvidos através de vários conceitos e um conceito particular que os arquitetos exploram é a relação com formas biológicas, e este conceito é definido como “morfogénese”. O termo refere-se à lógica da modelação formal e de padrões de decisões que um organismo atravessa em fase de crescimento ou processos de diferenciação.¹

81

A morfogénese digital torna-se um elemento de exploração formal e a utilização dos seus conceitos e fundamentos para a forma arquitetónica personifica-se no desenvolvimento de algoritmos generativos.

No entanto, existem outros meios de produção, nos quais as formas podem ser criadas por regras estruturais já predefinidas e que podem, por sua vez, originar diversas variações de formas paramétricas, conceito desenvolvido mais à frente neste trabalho. Através de um conjunto de dados e da condução de algoritmos, as abordagens arquitetónicas podem assumir uma enorme variedade nas intenções formais. Outra mais valia é a facilidade em conseguir uma relação racional com os métodos construtivos actuais. Um método, que também se fundamenta em regras estruturais, embora com uma abordagem diferente, são as “gramáticas formais”² que são utilizadas para definirem planos predefinidos.

1. Leach, 2009, P.34

2. Schodeck, 2005 P.51

Outra abordagem que também envolve regras estruturais para elaborar projectos é, por exemplo, a repetição de algoritmos para definir forma ou para apoiar na definição da estrutura projectual. A complexidade da utilização destes ambientes, muitas vezes, permanece em centros de investigação, pois implica um conhecimento alargado sobre como escrever algoritmos computacionais. Podemos então afirmar que todos estes processos generativos digitais que surgem e vão cada vez mais ter impacto na arquitetura ajudam a definir um novo estilo.

Os computadores são considerados ferramentas vitais para alguns desenhos de comunicação e apresentações, utilidade conseguida através do CAD, como descrito na parte anterior. Cada empresa arquitetónica utiliza o CAD para apresentar e desenvolver as suas ideias, no entanto podemos considerar o CAD, enquanto desenho assistido por computador como uma ferramenta passiva, e as ferramentas passivas não poem em causa os processos de concepção arquitetónica. Deste modo, as tarefas desenho passivo podem facilmente ser relegadas para técnicos ou desenhadores cad. Por outro lado, as ferramentas ativas, software de modelação e concepção formal, têm o potencial de adicionar um grande valor ao processo de concepção arquitetónico. Aqui reside a maior oportunidade para o arquiteto atual, em munir-se e capacitar-se de ferramentas ativas para aumentar e renovar o seu espaço criativo.

Especificando, as ferramentas ativas (muitas delas enunciadas anteriormente) incluem o uso de algoritmos, códigos e scripts para processarem artefatos digitais. A Era da Informação, tal como a Era Industrial antes dela, não é apenas um desafio sobre o que o arquiteto desenha ou concebe, mas sim como é que concebe.¹ O processo como o arquiteto produz um projeto está a ser substituído por processos computacionais que conduzem o processo para uma investigação experimental, tal como argumenta, Peter Zellner², “a arquitetura reformula-se em si própria, tornando-se parte de uma investigação experimental de geometrias topológicos, em parte uma orquestração computacional e robótica de produção material e noutra parte, uma escultura, cinemática geração do espaço.”³

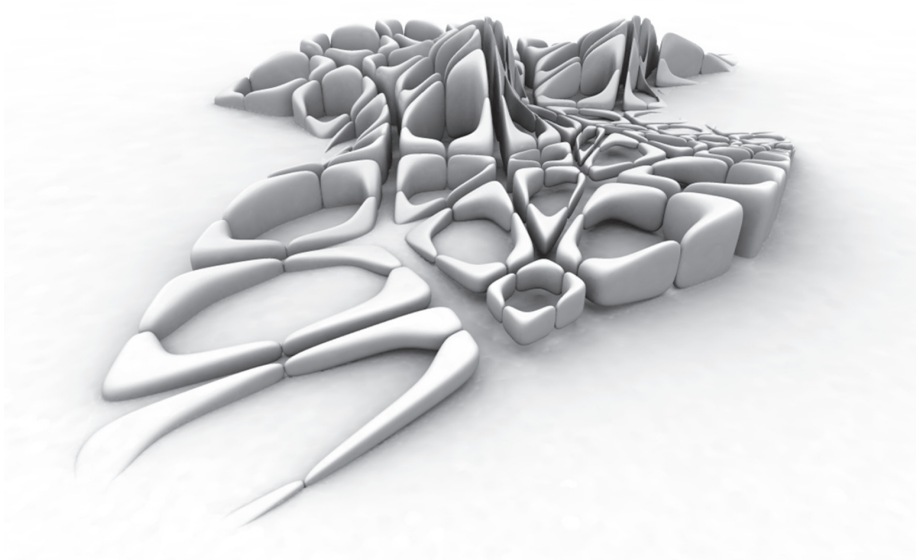
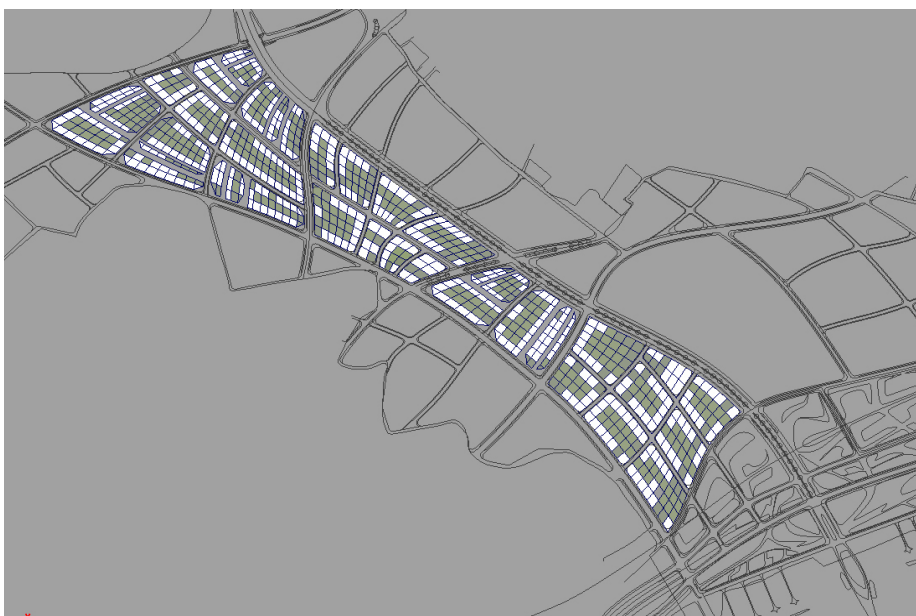
1. Kolarevic, 2000, P.251

2. Peter Zellner fundou o escritório ZELLNERPLUS em 2004. Zellner faz parte do corpo docente do Instituto de Arquitetura do Sul da Califórnia desde 1999. É autor de numerosos ensaios e livros, incluindo Espaço Híbrido (Thames & Hudson, 2000) que é parafreaseado neste trabalho.

3. Kolarevic, 2000, P. 252

As ferramentas digitais criaram novos métodos formais e organizações espaciais com várias geometrias curvilíneas e topológicas. A rápida mudança da tecnologia aliada aos avançados dispositivos computacionais mudou a maneira de pensar dos arquitetos, produzindo novas bases de exploração possibilitando novos paradigmas. O campo da arquitetura permanece em constante mudança, assim como a tecnologia. Esta desempenha um papel importante na arquitetura, pois proporciona vários meios de comunicação, uma base de experimentação e de análise de ideias que, normalmente são edificáveis.

A relação entre o digital e a materialidade, devido à utilização do desenho computacional generativo desenvolveu um conceito novo na arquitetura. Neil Leach afirma, "O uso aparentemente paradoxal do domínio imaterial do computador para entender as propriedades dos materiais de arquitetura gerou um novo termo na arquitetura: "tectónica digital" A velha relação entre o mundo material tectónico e o mundo imaterial digital dissipou-se e deu origem a uma nova forma de exploração material. O arquiteto é assim reformulado como o controlador de processos, que supervisiona a "formação" arquitetónica.¹ A tectónica digital é um conceito enfatizado no desempenho material, sobre a aparência e o processo ao longo da representação.²



3.2 A Parametrização – O Estilo

A disciplina arquitetónica começa a utilizar a modelação paramétrica como método corrente para representação do projecto de arquitetura. A modelação paramétrica é baseada numa ideia simples, atribuída a Samuel P. Geisberg¹, que consiste num desenho que considera um ou mais parâmetros que concebem a forma. Quando esses valores mudam ou são atualizados, os parâmetros e valores mudam a forma automaticamente sem ser preciso o redesenho tradicional oferecido pelo CAD. Para compreender melhor este conceito importa definir primeiro o que é um parâmetro. Um parâmetro é uma variável, em função da qual exprime cada uma das coordenadas de um ponto; variável cujo valor numa relação entre grandezas diversas, pode ser mantido constante enquanto outras grandezas variam. Os parâmetros variam e podem descrever inúmeras acções.

Na arquitetura, o desenho paramétrico pode variar a forma no sentido funcional, programático, tipológico, geométrico, ambiental, estrutural, económico, etc., afectando desta forma a concepção e a construção em toda a fase metodológica. Se condicionam o processo arquitetónico, os parâmetros também exprimem premissas em termos racionais e funcionais. A remodelação da Sagrada Família, por exemplo, está associada a sistemas paramétricos para desenvolver as formas complexas que Gaudi projectou. Neste exemplo, a maioria dos sistemas CAD/CAM/CAE estão relacionados de modo paramétrico, Marc Burry investiga e desenvolve o desenho paramétrico para resolver de forma assertiva o legado deixado por Antoni Gaudi.

A modelação paramétrica pode ser elaborada através de uma folha de cálculo ou de um script. José Pedro Sousa² define o desenho paramétrico com clareza suficiente para se perceber que a paramétrica tem a capacidade de se auto-configurar me

1. Samuel P. Geisberg, professor de matemática em Leningrado, refugiado nos Estados Unidos. Samuel é dos primeiros a projetar um pacote de software para computer-aided design e computer-aided manufacturing (CAD-CAM) este mesmo pacote veio revolucionar os sistemas CAD-CAM.

2. Arquiteto formado pela Faculdade de Arquitetura do Porto (1999), mestrado em Arquitetura Genética da ESARQ-UIC (Barcelona, 02) e grau de Doutor em Arquitetura pela IST-UTL (Lisboa, 10). Pesquisa e interesse relacionada com a exploração de novas possibilidades conceituais e materiais na arquitetura emergente através da utilização de design computacional e tecnologias de manufatura digital.

diante a introdução de novos parâmetros ou dados. Este autor evidencia uma relação possível entre o desenho paramétrico e as variações topológicas: “Ao nível do desenho, estes sistemas implicam a modelação geométrica de uma intenção de projecto controlada por constrangimentos e parâmetros. Em qualquer fase do projecto, a manipulação destas variáveis produz automaticamente variações topológicas visíveis em tempo real, sem que haja a necessidade de eliminar e/ou redesenhar entidades de desenho (...). Simultaneamente, as possibilidades de modelação são matematicamente rigorosas e oferecem uma maior diversidade de operações de criação, edição e transformação do que os sistemas CAD convencionais. A combinação flexível entre o estímulo à criatividade e ao controlo parece ser o principal argumento deste tipo de ambiente computacional.”¹

Muitos arquitetos têm uma abordagem mista para o desenvolvimento de projecto ou seja, utilizam vários ambientes digitais, dentro desse método. Desta forma, o mesmo projecto pode conter partes em que são modelados como um conjunto paramétrico enquanto a maioria dos detalhes projectuais permanecem em programas 2D ou desenhos manuais. Exemplo disso é o Gehry Associados LLP, que utilizou com sucesso esta combinação em projectos complexos, tais como o projecto STATA para o MIT em Cambridge no Massachusetts.

A tradicional hierarquia de representação do projecto geral (plantas, cortes, detalhes, etc.) pode ser conduzida através de um modelo paramétrico 3D. Por um lado, o modelo 3D pode ser tratado por uma empresa independente e discutido e reelaborado por via electrónica entre todos os participantes do projecto. Normalmente, em casos de edifícios que atingem um nível elevado de complexidade, os arquitetos optam por uma modelação paramétrica selectiva que consiste em escolher previamente no modelo 3D, quais os elementos que vão estar sujeitos a variações paramétricas.² Esta seleção depende sempre das escolhas feitas pelos arquitetos. Por exemplo, por vezes um arquiteto pode considerar importante variar a geometria formal do edifício e conseqüentemente as dimensões e características da base estrutural, enquanto que outros arquitetos apenas têm interesse em variar aspectos visuais de paredes exteriores.

1. Sousa, 2005, P.226-227

2. Schodeck, 2005, P.220

Concretizando, as vigas podem assumir formas diferentes ao longo do seu comprimento, com base em regras de sistemas simples, mas, no entanto, esta variabilidade dimensional pode ser inviável. O ambiente computacional (se tiver essa capacidade) pode sugerir alterações na configuração formal resolvendo, assim, o obstáculo mas, a maioria dos ambientes digitais ainda não suporta este tipo de “inteligência”, ainda que a velocidade com que os software se têm desenvolvido nos dê indicadores de que num futuro muito próximo será uma realidade.

Patrick Schumacher, arquiteto e teórico argumenta que a Parametrização é o novo estilo arquitetônico e urbanístico, com maior significado após modernismo.¹ A Parametrização é um conceito computacional subjacente da arquitetura digital. Schumacher refere que “Tornou-se evidente que a próxima onda de inovações e aperfeiçoamentos só pode ser alcançado através de scripts de sistemas paramétricos. Isto é, especificamente programação ferramentas de design para lidar com uma série de parâmetros de projeto para criar um projeto que é sensível à função, à forma e a parâmetros ambientais.”²

O paradigma da parametrização evolui num processo generativo que é influenciado por regras ou parâmetros para desenvolver projetos funcionais e habitáveis. A arquitetura digital implica uma mudança ontológica dentro dos elementos básicos da arquitetura. Em vez da geometria clássica e moderna, caracterizada por formas simples, com linhas retas, retângulos ou cubos, os artefatos digitais são animados, dinâmicos, adaptam-se, são interativos, e compostas por geometrias e superfícies complexas, desenhadas com recurso a splines ou com recurso à modelação NURBS.³

A parametrização como estilo avant-garde, arquitetônico e urbanístico, encontra-se a passar por um ciclo de adaptação ao campo arquitetural e à sociedade em geral. A sociedade caracteriza-se por um padrão de consumo universal, evoluindo como uma sociedade heterogénea e marcada por uma proliferação de estilos de vida e trabalho, a demanda atual da arquitetura e urbanismo está em organizar e articular, o aumento da complexidade da nossa sociedade.

1. Leach, 2009, P.8

2. Xu, Feng. “interview: Patrik Schumacher” in http://www.patrikschumacher.com/Texts/Interview_WA_May%2009_english.htm

3. Leach, 2009, p.37

Esta arquitetura contemporânea e vanguardista procura dar resposta a essa demanda social através da introdução conceitual paramétrica.¹ Schumacher aponta que em vez de estarmos perante um novo conjunto de técnicas, estamos perante um novo estilo arquitetónico. As técnicas em questão, a utilização de simulações e animações, o form-finding, bem como a modelação paramétrica e o scripting, inspiram um novo movimento coletivo com ambições e valores radicalmente novas. Mais do que justificar, o novo estilo, através do reconhecimento estético, promove o desejo de uma arquitetura marcada pela fluidez, pela complexidade, claramente expressa antes das novas ferramentas digitais estarem cimentadas nas práticas arquitetónicas. É possível apercebemo-nos disso ao analisar o trabalho de Zaha Hadid em final dos anos 80 ou nos projetos de Eisenman/Lynn no início da década de 90. Esta vontade/tendência também indica que estamos confrontados com um novo estilo e não apenas com novas técnicas.² Outra realidade é o discurso conceitual incidido sobre conceitos como a “diferenciação contínua” ou a “personalização em massa”³ que justificam a enunciação de um novo estilo, e assumir-se que a Parametrização é um estilo maduro.⁴ Atualmente, assiste-se a uma aceleração de desenvolvimento formal, ao desenvolvimento de ferramentas de desenho paramétrico e scripts que permitem a formulação exatas e execução de correlações complexas entre os elementos e subsistemas arquitetónicos. Os conceitos compartilhados, as técnicas computacionais, os repertórios formais e as lógicas tectónicas que caracterizam a capacidade formal permitem um novo paradigma hegemónico sólido para a arquitetura. A Parametrização emerge da exploração criativa de sistemas de desenho paramétrico no intuito de articular os complexos processos sociais. Uma questão pertinente, que talvez adia a nomeação da parametrização como um novo estilo, é a utilização dessas mesmas ferramentas para manutenção de uma estética formal modernista.⁵

1. Leach, 2009 P.15

2. Leach, 2009 P.23

3. Desenvolvido mais à frente neste trabalho

4. Leach, 2009 P.15

5. Leach, 2009 P.16

No entanto, a sensibilidade paramétrica aponta para um caminho formal completamente enfatizado na diferenciação formal e visual da época moderna.

A arquitetura digital evoluiu quando os arquitetos, referindo o exemplo de Peter Eisenman e Lynn Gregg, começaram a explorar formas irregulares, biomórficas, ou curvilíneas. Lynn, no seu livro "Folding in Architecture"¹, expõe o conceito "Folding" que consiste em conceber e atingir formas arquitetônicas como reação contra a desconstrução que surgiu no início de 1990. Lynn começou a explorar formas curvilíneas; misturas flexíveis, e dobráveis que se tornou uma experimentação de formas geométricas. A tendência em "Folding" implicava o uso do computador e anunciava uma investigação formal para a arquitetura digital. Este processo arquitetônico usa vários parâmetros para gerar formas arquitetônicas, ou seja, estas não são geradas de forma aleatória. A relação entre o arquiteto e esta nova forma conceitual criou uma nova maneira de pensar sobre a arquitetura, que resultou numa mudança de paradigma. O papel de um arquiteto não muda significativamente como Leach afirma: "o arquiteto não é menos imaginativo, sim, a imaginação arquitetônica foi deslocada para uma arena diferente, sobre o uso criativo de vários processos"² Não utilizando os sistemas computacionais apenas como ferramentas de representação, mas como um instrumento ativo, parte do processo de concepção, as novas formas e o feedback instantâneo das mesmas sugere diferentes desempenhos ou perspectivas diferentes, tais como o uso do espaço, iluminação e guias de fabricação atentas às restrições reais para permitirem uma funcionalidade arquitetônica.³

Outra aplicação possível é a modelação de malha urbana, visada a conseguir novas lógicas de sistemas urbanos, desde os tecidos de modulação, aos sistemas de rua e sistemas de espaços abertos. Na abordagem urbanística, a parametrização aborda as formas em que os sistemas de desenho associativo podem controlar a infor-

1. Greg Lynn Ed., *Folding In Architecture: Architectural Design Profile No. 102* (London: Academy Group Ltd., 1993)

2. Leach, 2009, P.35

3. Leach, 2004, P. 89

mação dinâmica do local, para efetuar e ajustar os processos de vida urbana, incorporando inteligência na formação, na organização, no desempenho dos espaços urbanos, usos, atividades, interfaces, estruturas e infraestruturas.

As repercussões do projeto paramétrico podem realmente superar a mera formação de um novo estilo, e o fascínio atual com a forma, cada vez mais complexa e curvilínea, ao colmatar uma vontade arquitetónica promovida por anteriores experiências no século XX, em que encontramos essa vontade nos projetos de Mendelsohn, Kiessler, Saarinen, Gaudí entre outros. Estes novos métodos algorítmicos intensificam a interação do arquiteto com os modelos digitais, produzindo não só objetos singulares, mas sim, processos projetuais preenchidos de multiplicidades de espaços arquitetónicos complexos, potenciados para integrar as engenharias, a fabricação e operações informativas para a modelação e construção, assim como sistemas de distribuição construtiva que podemos apelidar de Building Information Modeling - BIM¹.

Esta dinâmica processual facilita a atualização de informações durante todas as fases do projeto e construção, revolucionando a disciplina e a profissão arquitetónica. Adicionando a isto, a concepção de formas não standardizadas, os chamados métodos File-to-Factory, produzindo elementos à escala arquitetónica ou até mesmo à escala de cidade levantam questões de renovação da prática arquitetónica. A standardização em massa é ultrapassada pela personalização em massa, onde o controlo numérico assume todo o protagonismo, de permitir a barata e rápida execução formal.²

O uso frequente de técnicas de projeto para realizar a mesma operação em escalas diferentes permite resolver em simultâneo questões arquitetónicas ou urbanas.³ A concentração no Urbanismo Paramétrico por parte de algumas equipas de investigação revelam algumas implicações, no entanto com o entendimento de que, as cidades são expressões relacionais com a vida social, política, económica, com condições, contextos geográficas e topográficos apontam para um entendimento claro com a parametrização na forma de planear cidades.⁴

1. Leach, 2009 P. 25

2. Idem

3. Leach, 2009, P. 29

4. Leach, 2009 P. 33

Uma empresa de arquitetura que adotou o conceito de arquitetura digital é a Zaha Hadid Architects (ZHA) que concentra e desenvolve os seus projetos a partir da parametrização formal. O trabalho de ZHA mudou ao longo dos anos, a fase mais conhecida surge com um novo estilo que influencia a sua base toda de exploração. Este paradigma permite novos estilos, novos pensamentos conceptuais e alarga os discursos arquitetónicos. Nos primeiros trabalhos de Zaha Hadid, não se conseguia uma comunicação e tradução fácil das ideias arquitetónicas, muito menos passar do papel para a realidade, com estes métodos a realidade muda. Com a parametrização, Hadid, explora o movimento e a fluidez na arquitetura. Através dela consegue a desejada complexidade geométrica. Com a utilização de scripts e sistemas paramétricos cria desenhos restritos a constrangimentos formais, tornando-os funcionais e ambientais. Por exemplo, o uso de parametrização na estação ferroviária de Innsbruck demonstra a fluidez funcional pretendida por ZHA. “Nenhum outro estilo poderia ter alcançado esta coincidência de variação adaptativa às diferentes condições do local com coerência...”¹ A parametrização argumenta-se como o grande estilo de ZHA e a base de exploração formal levou à criação de um grupo de pesquisa chamado de ZHA Computational Design Research Group. Este grupo de pesquisa desenvolve encriptações para sistemas paramétricos que se relacionam com o discurso das empresas de arquitetura. Apesar da utilização de métodos paramétricos ainda se encontrarem numa fase pioneira para resolver problemas urbanísticos, Zaha Hadid já venceu uma série de competições internacionais recorrendo a estes métodos, como exemplo disto temos, o projecto One-North Masterplan, um parque empresarial de uso misto em Singapura de 200 hectares, outro exemplo é o projecto é Soho City em Pequim, que cobre uma área de 2,5 milhões de metros quadrados, para programas comerciais e residenciais, outro projecto de elevado interesse, é o Kartal-Pendik Masterplan, um tecido urbano de uso misto de 55 hectares e 6 milhões de metros quadrados de área bruta edificável, onde contem todos os componentes programáticos de uma cidade.

1. Schumacher, 2004.

O projeto Kartal-Pendik prevê a concepção de um subcentro no lado asiático da cidade de Istambul, a ideia de Hadid é reduzir a pressão do núcleo histórico da cidade. O local que vai ser recuperado são parques industriais que ladeiam as pequenas cidades suburbanas, as linhas de entrada destas cidades e as suas circulações foram importantes na geração da geometria urbana adotada.¹

Zaha Hadid categoriza o desenho paramétrico em três pontos distintos: o primeiro ponto relaciona-se com a utilização de parâmetros para conduzir processos de redução de custos na produção e fabricação de componentes, por recurso a plataformas que condicionem o número de opções existente, tais como os materiais, dimensões, formatos, etc. O segundo ponto tem relação com o controlo das variáveis que definem os parâmetros, como alavanca para os processos do desenho programático, na procura de uma fabricação personalizada em massa, recorrendo a manufaturas digitais. O terceiro ponto implica o uso de parâmetros para definir condições limite e que os desenhos emergentes sejam “autorizados” a evoluir computacionalmente. Nesta situação, o arquiteto opta pela melhor solução que emerge dos controlos paramétricos pré-definidos, para, de seguida, melhorar, corrigir e detalhar o artefato desenvolvido.

O primeiro ponto, referido pela arquitecta Zaha Hadid, aponta para uma perspetiva bastante realista relativamente à concepção arquitetónica e às opções disponíveis no mercado. O segundo relaciona-se com a integração das formas complexas e com o seu consequente fabrico, a um preço acessível ao cliente. O último, mais radical e porque a “máquina virtual” tem um papel ativo na forma de concepção, aborda a pertinente questão do desenho e da arquitetura emergente. Este olhar, sobre o desenho paramétrico, identifica os principais aspectos que envolvem a procura da forma livre e das formas topológicas.

1. Leach, 2009, P.19

O elemento chave, num sistema de modelação paramétrica, é a célula, o dispositivo que forma relações. Por exemplo, o arquiteto quando usa um sistema de modelação paramétrica deve descrever, tanto as células a partir das quais os dados são recebidos, como os dados utilizados para calcular um valor. No entanto, na prática, os sistemas são complexos, pois exigem um esforço considerável para aprender e trabalhar com eles. Existe uma vasta gama de ideias geométricas que podem ser modelados e inúmeras maneiras diferentes de escrever fórmulas. Além disso, os sistemas de modelação paramétrica fornecem ao seu utilizador a capacidade para elaborar os seus próprios cálculos para colocar dentro das células. Esta capacidade, teoricamente, permite que uma célula possa calcular, por exemplo, a estrutura inteira para um edifício.

O uso efetivo da modelação paramétrica requer uma compreensão prática de conceitos como vetor, produtos vetoriais, projecções, funções paramétricas, triedos de Frenet, etc. Estes conceitos exigem algum estudo e conhecimento prévios para que se utilize a parametrização de forma eficaz.

A maioria dos arquitetos não teve formação sólida em álgebra ou matemática, em computação ou software de engenharia. No entanto, há cada vez mais escritórios e escolas de arquitetura a criar plataformas de ensino que exploram e ensinam este tipo de conceitos e, na realidade, muitos dos que geram e utilizam nem sequer sabem nomear as fórmulas matemáticas que fundamentam os acontecimentos, mas são capazes de prever os efeitos geométricos.¹

No último capítulo, procurou-se, sobretudo, decodificar alguns dos métodos existentes que apoiam a prática de projecto digital. A modelação digital proporciona uma validação de todos os elementos ligados ao projecto arquitetónico, mesmo antes de ser materializado fisicamente. Os ambientes digitais ou virtuais, exploram estratégias projectuais mais radicais, estratégias generativas ou evolutivas, ou seja, o computador ganha autonomia para emergir modelos, dentro de condições limite, através de parâmetros pré-determinados pelo arquiteto, e que no contexto virtual, são capazes de retratar e considerar as condicionantes do mundo real.

1. Jabi, 2004, P. 258

Podemos assumir a Arquitetura Paramétrica como o novo movimento que direciona para uma mudança de paradigma. É um estilo oriundo das técnicas do desenho computacional generativo. As técnicas computacionais, assim como os algoritmos, são utilizados como ferramentas auxiliares à prática arquitetônica e ao processo generativo. O arquiteto permanece como o principal fator de decisão e ele mesmo desenvolve os parâmetros de definição formal.

Propomo-nos no capítulo seguinte deste trabalho analisar de que forma é que a manufatura digital e o controle computadorizado materializam este novo paradigma paramétrico abordado anteriormente.

3.3 A Manufatura Computadorizada ao Serviço da Arquitetura

O computador permitiu uniformizar máquinas universais que trabalhassem através dos mesmos mecanismos e métodos. Desde máquinas com cartões de papel perfurados e fitas para controlar a variedade via numérico. Até esta fase, abordamos neste trabalho a história, os conceitos e os elementos tecnológicos que permitiram associar o computador ao controlo numérico, daí a expressão “Computer Numerical Control” (CNC).

Nos campos aeroespacial, automotivo, indústrias de construção naval ou medicina, os sistemas “CAD-CAM” são utilizados há muito tempo para produzir diversos componentes geometricamente complexos. Esta troca de informação entre áreas de atuação desenvolveu rapidamente o controlo numérico através do computador (CNC), como principal processo de fabricação para trabalhar com diferentes materiais. Assim, o caminho digital que o projecto de arquitetura tem percorrido nos últimos anos decorre diretamente da evolução destes processos noutras áreas da sociedade, conforme a necessidade de cada um.¹

O desenvolvimento de servomecanismos² e de linguagens padronizadas de controlo numérico tornou viável o aparecimento das máquinas NC (numerical control). Este fato, a par do desenvolvimento dos computadores e das ferramentas digitais, que se verificou durante a década de 50, permitiu estabelecer uma base sólida para o desenvolvimento das tecnologias CNC atualmente presentes em qualquer setor industrial. Outro aspecto significativo que tem sido valorizado é a performance com base na qualidade dos serviços prestados. Assim, tem sido desenvolvido software de controlo, ferramentas de visualização digitais para apoio e aplicações variadas que permitem às tecnologias CNC estarem em constante expansão.

1. Sousa, 2005. P.28-33

2. Mecanismo que só realiza um certo programa de ação depois de uma comparação entre as tarefas que lhe são dadas e o trabalho que ele executa. in dicionário priberam.

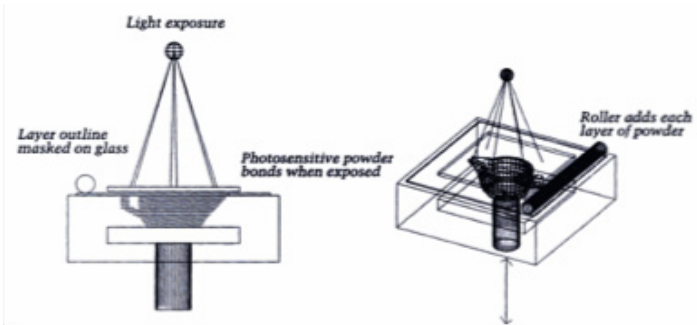


fig.54

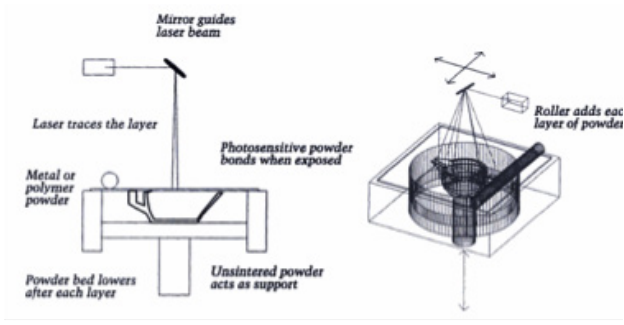


fig.58

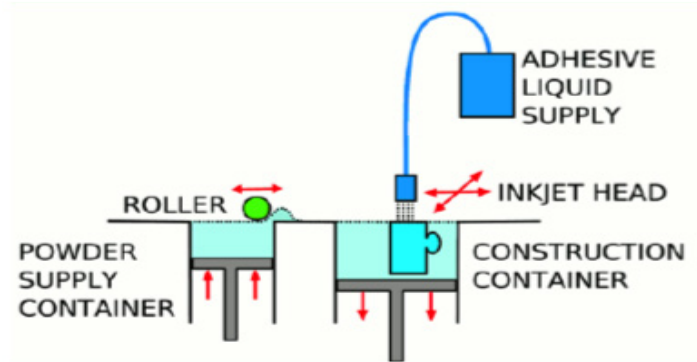


fig.55

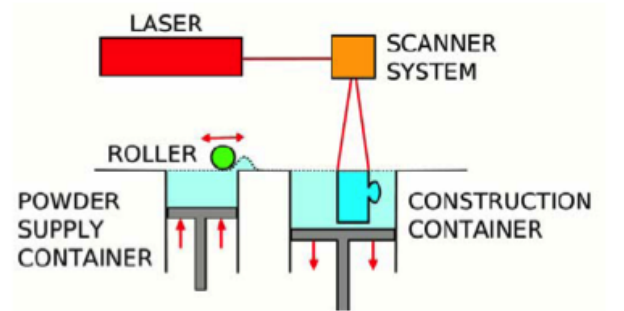


fig.59

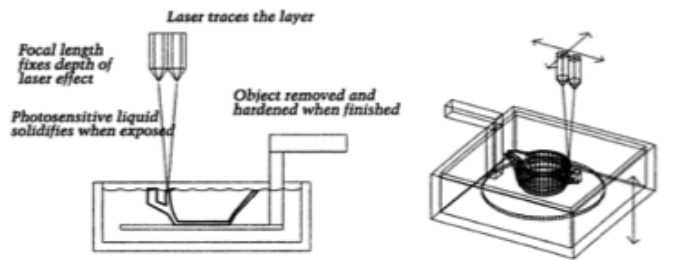


fig.56

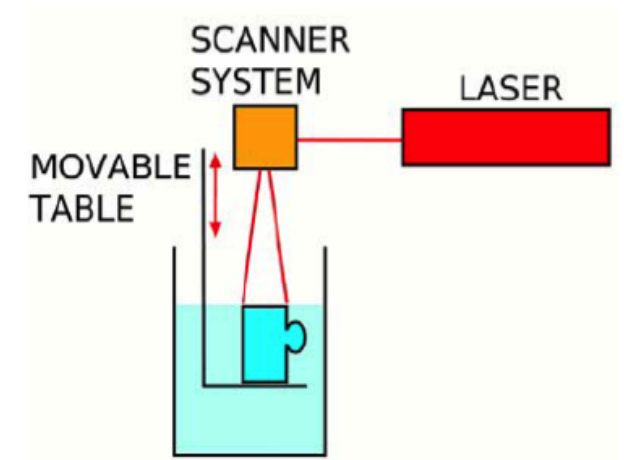


fig.60

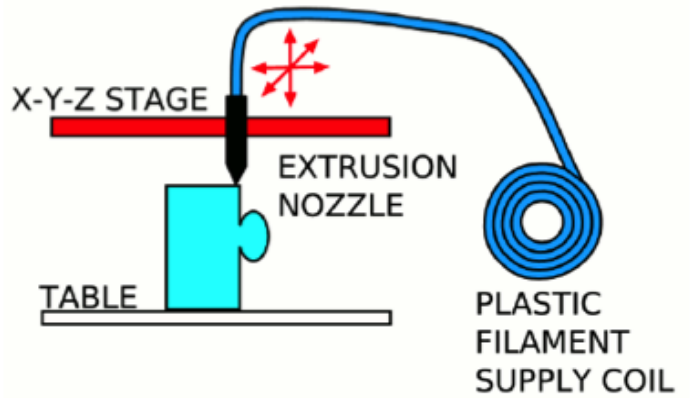


fig.57

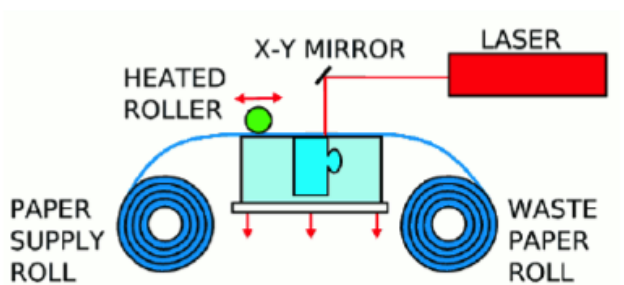


fig.61

fig_54
Ilustração de
Impressão 3D
tridimensional

fig_55
Esquema de
impressão 3D

fig_56
Ilustração de
Estereolitografia

fig_57
Esquema de FDM

fig_58
Ilustração de SLS

fig_59
Esquema de SLS

fig_60
Esquema de
Estereolitografia

fig_61
Esquema de
LOM

Este sistemático desenvolvimento favorece o utilizador pois, para além de facilitar a sua maneabilidade, também reduz os custos de aquisição de maquinaria.¹

As tecnologias de controlo numérico computadorizado são equipamentos que permitem ser controlados e operados em tempo real através da utilização de uma linguagem simbólica, como disso é exemplo a utilização de informação contida em cartões perfurados, fitas, fitas magnética, cassete ou qualquer um dos muitos dispositivos de armazenamento de informação disponível em qualquer computador de hoje em dia.

O conceito antigo de Numerical Control (NC), associado ao computador (CNC), é atualmente o motor de desenvolvimento de qualquer indústria. Desde a indústria do têxtil, à publicidade, ao setor automóvel, ao design industrial, às indústrias ligadas ao setor de construção, como as pedreiras, serralharias, carpintarias, etc. todos utilizam tecnologias de manufatura auxiliadas por computadores.

A primeira máquina equipada com NC foi uma fresa que se movimenta em três eixos (x, y, e z) originalmente, projectada para controlo manual usando rodas de mão. Naturalmente, o poder computacional não é uma ocorrência atual e é importante referir que o NC foi desenvolvido durante os primeiros anos da tecnologia computacional, e continua a exibir muitas características vindas do passado. No presente, as ferramentas CNC são mais precisas, mais rápidas e têm um custo menor, apesar de não conseguirem competir com as ferramentas convencionais controladas pela mão. Elas permitem um trabalho mais uniforme e mais versátil. Máquinas a laser de descarga eléctrica, máquinas de corte, jatos de água, soldadores de eléctrones, etc. não seriam possíveis de operar com extremo rigor se não fossem adaptadas e conectadas a computadores e a controlos numéricos.²

Algumas das mais básicas características das tecnologias CNC incluem a preparação de instruções que demonstram digitalmente a elaboração do trabalho, a leitura das instruções e conseqüentemente a conversão para um fluxo de impulsos eléctricos que permitem a concepção do modelo, e as próprias ferramentas das máquinas.

1. Shodeck, 2005, P. 237

2. Shodeck, 2005, P. 238

Outra característica comum da tecnologia CNC, é a linguagem utilizada para realizar o trabalho. A designada Automatically Programmed Tools (APT) (anunciada pelo MIT em 1962) foi a primeira linguagem desenvolvida para o NC e data de 1959. Com a preocupação de atingir uma linguagem mais simples e eficiente evoluiu-se para o desenvolvimento do código-G para as máquinas CNC. Posteriormente surgiu a linguagem gráfica da Hewlett-Packard (HPGL), uma linguagem eficiente em controlar as plotters HP e adaptada às ferramentas CAD / CAM, como as máquinas corte a laser, jato de água, corte de plasma, routers, corte de vinil e outros equipamentos semelhantes.¹

A aplicação destas ferramentas no campo arquitetónico incide na construção e fabricação de formas. Ao basearem-se em processos de remoção material, em processos de deformação e de produção de moldes e em processos de adição permitem desenvolver formas complexas, planas, curvas, com relevo, com dobras ou simplesmente deformadas e podem trabalhar materiais, tais como o vidro, o metal, painéis de madeira, etc. O processo de remoção de material permite esculpir todo o material até atingir o molde desejado. Este processo pode ser feito através da moagem mecânica, do corte, da perfuração, da perfuração eléctrica, da electroquímica ou da remoção térmica. No processo de deformação, as formas são conseguidas através da introdução de materiais em estado líquido, em moldes já formados. Outras técnicas como a injeção de ar para modelação, por exemplo, a fabricação de garrafas de plástico, também se podem incluir nestes processos. O processo de adição ocorre quando materiais, como o gesso, plástico, cera, etc. são adicionados a uma base, através da ligação de camadas, até produzirem o objeto desejado. O objetivo é unir os pedaços pequenos até fabricar um artefato, maior e mais complexo.²

No campo da construção, é muito comum que a fabricação dos componentes construtivos seja feita no local, através de transformação direta, a par da utilização dos elementos pré fabricados mais comuns, como as peças cerâmicas. Exemplo disto é a fabricação do betão, das paredes de alvenaria, os acabamentos, as aplicações

1. Shodeck, 2005, P.238

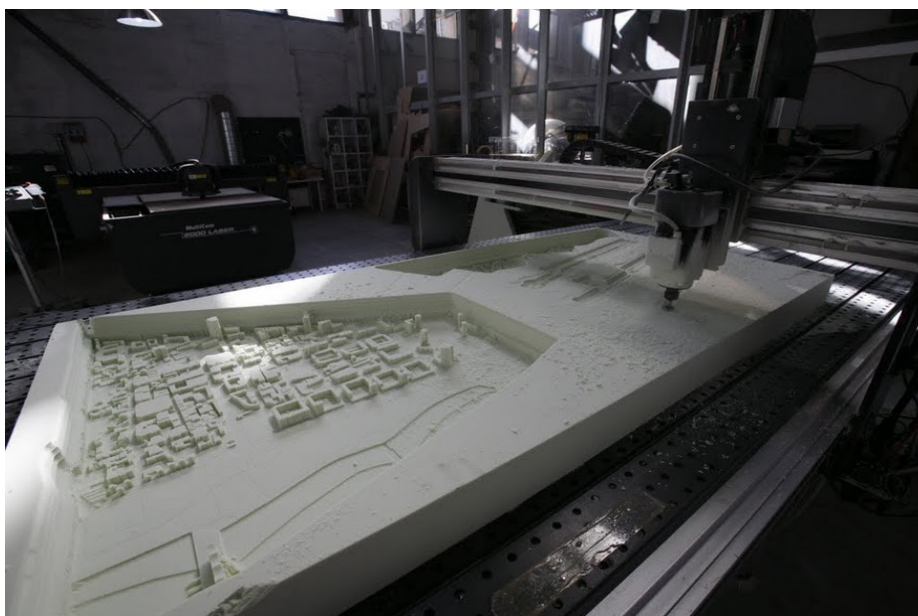
2. Shodeck, 2005, P.239-244

liquidas nas paredes e no chão, os trabalhos com gesso, etc. Atualmente, as técnicas CAD/CAM exercem pouco efeito nesta realidade construtiva devido ao fato de ainda não estarem implementadas no mercado construtivo, quer pelas dificuldades encontradas a nível do custo, quer pela ausência de conhecimento.¹ No entanto, já se encontram algumas aplicações e excelentes resultados relacionados com a adoção dos sistemas CAD/CAM no auxílio à concepção arquitetónica. Exemplo disto, são os robôs que apoiam a construção, de forma autónoma ou através de modelos 3D, ainda em desenvolvimento. Outros processos, como a utilização de conjuntos de elementos personalizados, tais como blocos de alvenaria ou elementos em betão pré-fabricados, permitem uma eficácia maior e melhorar a produtividade construtiva, poupando no tempo e nos custos. Estas questões estão, de alguma forma, relacionados com o conceito de customização em massa, conceito que cada vez mais é uma realidade, tanto a nível construtivo como a nível concetual, ligado à concepção de produtos individualizados construídos por maquinaria altamente especializada.

Os desafios de projectar e fabricar elementos arquitetónicos personalizados, permanece atualmente no foco de discussão sobre a utilização de sistemas CAD/CAM, na arquitetura. Como já abordado anteriormente neste trabalho, a concepção de edifícios/formas complexas com o apoio de ferramentas avançadas, tais como a modelação paramétrica que permite a ligação ideal às técnicas de fabricação CNC, comprova a utilidade na representação e fabricação de arquitetura contemporânea. Os sistemas CAM direccionam-se para a produção e fabricação de artefactos controlada através do computador. A maquetização e elaboração de protótipos ajudam a compreender, a desenvolver e muitas vezes a vender arquitetura.

Esta concretização real do projecto em escalas reduzidas (ou à escala real), recorre a diferentes processos de fabrico, consoante a necessidade de cada caso e muitas vezes mediante a capacidade financeira.

1. Shodeck, 2005, P. 338



fig_62
Corte Jato de
Água de peças
para o pavilhão
de "Dynaform"
(2001).

fig_63
Controlo
Numérico
através de
Computador,
3 eixos (x,y,z).
Maquete em
esferovite de alta
densidade.

fig_64
Controlo
Numérico
através de
Computador,
3 eixos (x,y,z).
Resultado final
da maquete.

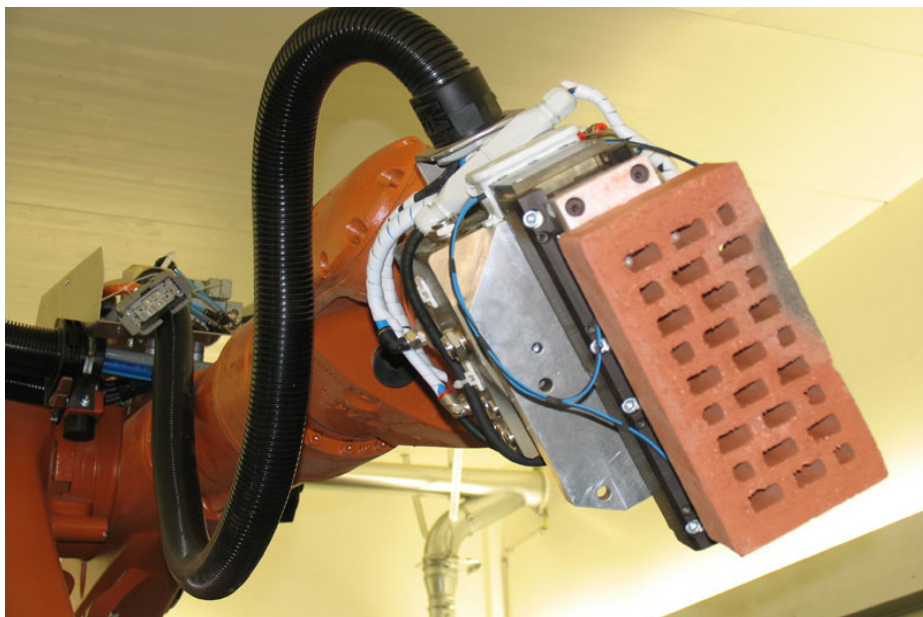
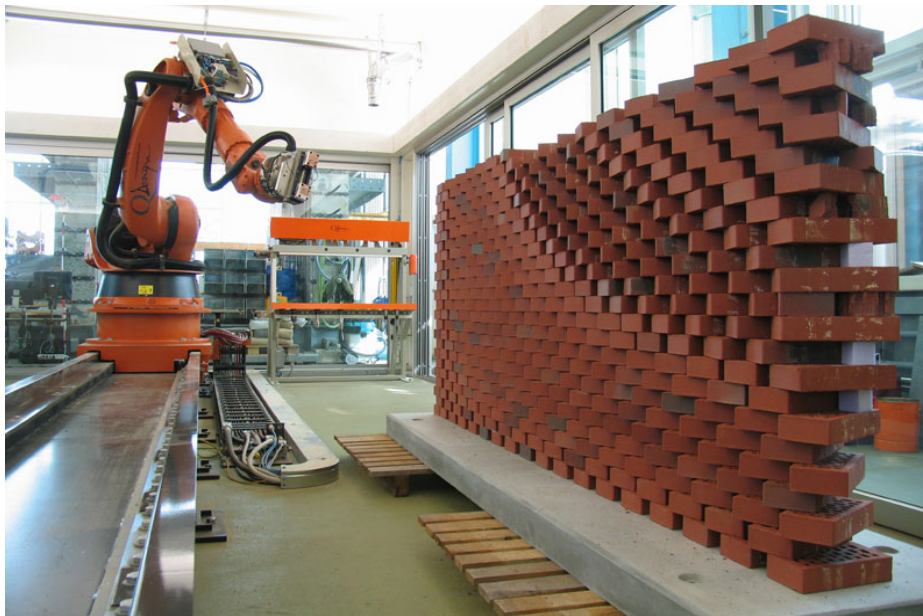
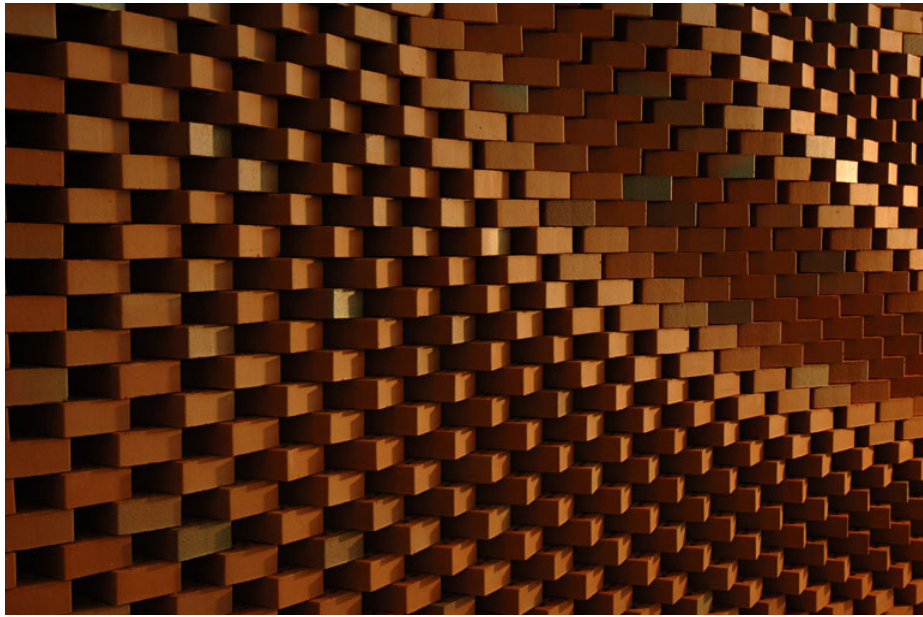
A utilização dos sistemas CAD/CAM simplifica a ligação que existe entre a concepção dos modelos digitais e a sua consequente fabricação ou construção. File-to-Factory, é a denominação que exemplifica esta facilidade em fabricar modelos digitais. Outra finalidade do recurso a estas ferramentas incide na personalização em massa, a mass customization, que consiste na fabricação de objetos diferenciados, com qualidade e a um custo considerado acessível. Esta fabricação deixa de estar sujeita à produção em massa do mesmo objeto, fator importante que ajuda à exploração de qualquer topologia. José Sousa e Gonçalo Furtado¹ referem que "Com a associação às tecnologias de manufatura (...) decorrem mecanismos capazes de materializar a informação proveniente da realidade sintética das aplicações CAD, estabelecendo uma ligação direta e efetiva entre projecto, propriamente dito e a construção (...) criando condições para uma revisão de alguns conceitos que se tornaram dominantes, como o de standardização."²

Os sistemas CAM podem então colaborar nesta área ao serem considerados processos tecnológicos de fabrico computadorizado. Nestes sistemas, um modelo digital pode ser produzido através de três processos metodológicos distintos: as operações aditivas (adição e aglomeração), as operações subtrativas (corte ou remoção) e os processos formativos (deformação). É importante caracterizar e descrever o funcionamento destas ferramentas digitais acessíveis na disciplina da arquitetura, de maneira a perceber a potencialidade de cada uma.

101

1. Gonçalo Furtado arquiteto e professor na Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Mestre pela Universidade Politécnica da Catalunha, e Doutoramento pela University College of London. É autor de vários livros e em 2008 foi premiado pela WOSC (UK) com "Kybernetes Research Award: Highly commended paper) e em 2010 pelo IIAS (Canada) com o "Outstanding Scholarly Contribution Award 2010".

2. Furtado e Sousa, 2001, P.126-129



fig_65
Módulos de
tijolo empilhados
através do braço
R.O.B.

3.4 Personalização da Pré-Fabricação

A personalização da pré-fabricação consiste no conjunto de métodos utilizados que permite, simultaneamente, aumentar a flexibilidade e reduzir custos, quebrando assim com o dilema industrial que dita que o menor custo está, inevitavelmente, associada a grandes volumes de produção.

Estes avanços na tecnologia de fabricação, combinados com a introdução da tecnologia de informação no mundo da manufatura, trouxeram um modelo de negócio, que parece resolver o dilema entre variedade e alta produção de elementos em massa: customização em massa ou personalização em massa.

Apesar da possibilidade de utilização de métodos digitais no processo arquitetónico, os processos não digitais, como o esboço à mão ou a alteração direta das maquetas físicas, não se extinguiram. Estas acções continuam a desempenhar um importante papel no processo criativo. A comunicação com outros membros do projecto, como engenheiros, especialistas, clientes e fornecedores, pode ser agora complementada, permitindo que os critérios de projecto mantenham a exigência de uma ampla análise especialista, tal como a discussão à volta dos sistemas estruturais, construtivos e ambientais do novo edifício. Desta forma, a realidade do quotidiano dos escritórios de arquitetura mantém-se centrado nas atividades das pessoas, e não única e exclusivamente nas máquinas. Assim, um ambiente de projecto dinâmico não requer apenas a capacidade de gerar informações digitais, mas também o conhecimento para as organizar e aplicá-las em todo o processo arquitetónico. Assim, é importante conhecer cada uma das tecnologias digitais existentes, de maneira a otimizar da melhor maneira o processo de concepção do modelo desejado, adequado à estrutura organizacional do escritório.

A fabricação industrial, neste contexto, diz respeito à construção do edifício baseada numa lógica produtiva, através da normalização, da pré-fabricação e instalação no local. A racionalização da produção é ditada pela simplificação geométrica e pela produção de componentes com pouco custo.

fig_66
Braço robô –
ROB a fabricar
módulo de
parede.

fig_67
Pormenor de
colocação do
tijolo



fig_68
Processo de
montagem de
parede através
do braço R.O.B

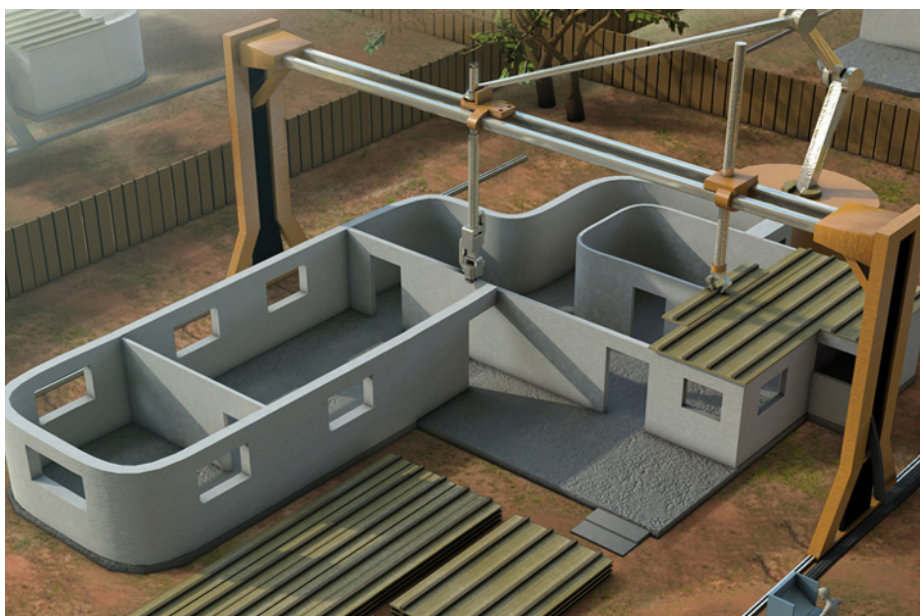
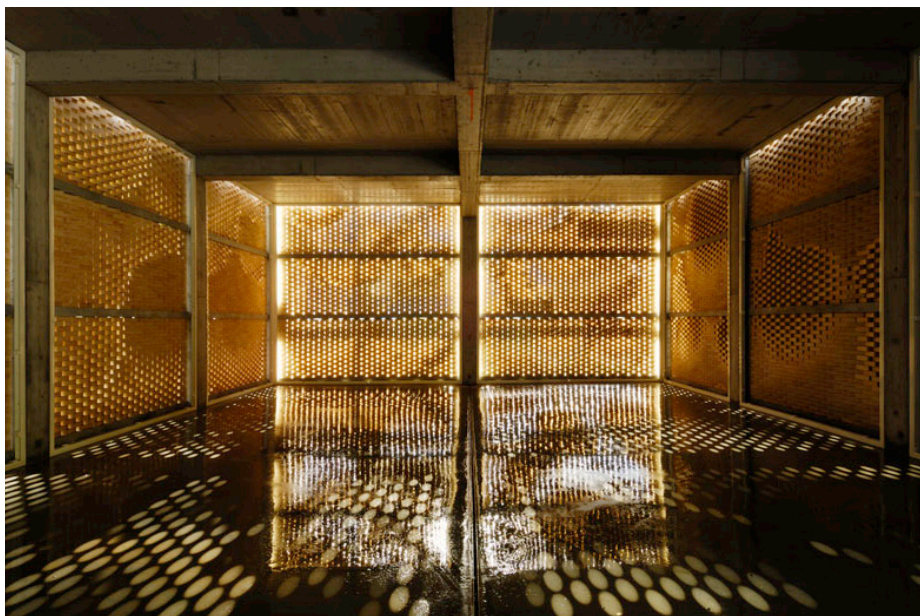
A rigidez da produção em série deixa de ser necessária, pois através de máquinas de controlo digital, a variedade e o descompromisso formal atingem a mesma eficiência e o mesmo valor económico na produção, acrescentando desta forma o conceito de “customização em massa”. Na construção e produção, é tão fácil e barato produzir 1.000 objetos únicos como produzir 1.000 objetos idênticos, recorrendo a um controlo numérico computadorizado.

fig_69
Winery
Gantenbein,
(2006) de
Gramazio &
Kohler – vista
geral.

Com a possibilidade da fabricação digital, os projectos atingem uma ligação direta com a produção física, a que apelidaram de “informing architecture”. O DFab é um escritório de arquitetura suíço liderado por Gramazio e Kohler, onde se investiga as novas possibilidades arquitetónicas apoiadas na fabricação digital. Estes arquitetos lideraram uma pesquisa, no Instituto Federal Tecnológico da Suíça em Zurique - ETH Zurique, que pretende assistir a arquitetura através de recursos tecnológicos. Este recurso consistia, basicamente, na utilização de um robô industrial – R.O.B, para construir componentes arquitetónicos à escala real. Este processo é semelhante à prefabricação, com a diferença de que as peças podem ser individualizadas, ainda que fabricadas em série. Através deste processo conduzido e fabricado por mecanismos digitais, os componentes são fabricados em “ambientes de máxima flexibilidade, diferentes materiais e diferentes de resolução e deposição” . O projecto “Informed Wall” utiliza ferramentas paramétricas para a fabricação e montagem de paredes padronizadas em tijolo, ou noutro tipo deposição de material. Este robô é capaz de atingir todos os pontos x,y,z numa dimensão de 3x3x8 metros. Este método foi adotado na construção da fachada do Lagar de Gantenbein em Flasch, na Suíça (2006). Onde é possível entender a complexidade que se pode atingir com estes mecanismos. Esta abordagem, apesar de restringir representação a nível material decorrente da manipulação de um único elemento, consegue uma grande variedade de formal.

fig_70
Winery
Gantenbein,
(2006) de
Gramazio &
Kohler

Neste contexto, importa abordar os estudos que estão a ser desenvolvidos pelo Behrokh Khosnevis, que inventou e patenteou o Counter Crafting (CC), procurando substituir a mão-de-obra humana por processos robóticos, controlados por computador.



fig_71
Pormenor de
Fachada do
interior do Winery
Gantenbein,
(2006) de
Gramazio &
Kohler

Os processos robóticos que substituem o trabalho do homem já existem desde 1970, desde a produção de carros em série, à aspiração de salas de estar ou à exploração a Marte. O que Khosnevis introduz é o primeiro sistema automático de construção de edifícios. O conceito deste processo anda muito próximo da prototipagem rápida, só que este aplica-se à escala 1:1, em vez de trabalhar com gesso ou outro material, a “impressão” é feita com betão sem que este precise de cofragem. Com a automatização de todo o processo de construção, os edifícios possivelmente vão passar a ser construídos por máquinas, economizando tempo e dinheiro, para além de reduzir o esforço humano e os acidentes de trabalho.

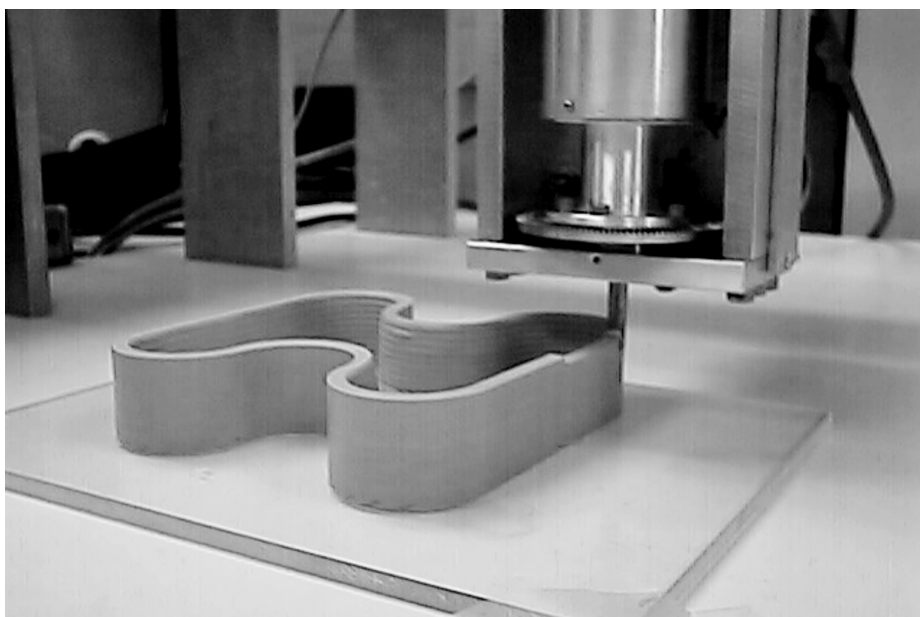
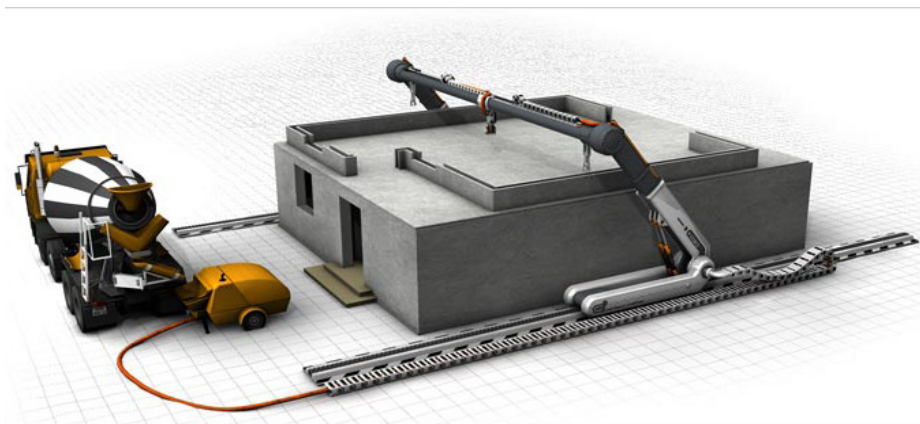
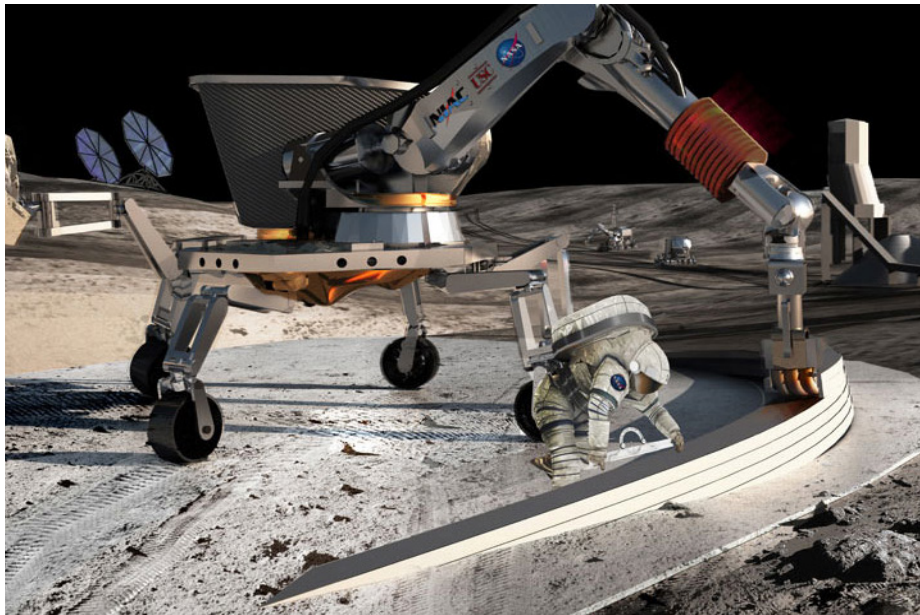
fig_72
Interior do Winery
Gantenbein,
(2006) de
Gramazio &
Kohler

Com a enumeração de alguns dos principais processos de manufatura digital, procurou-se expor a valorização que a concepção arquitetónica adquire ao integrar as ferramentas CAD/CAM no seu processo metodológico e concetual. Espera-se que, num futuro próximo, estas ferramentas estejam acessíveis a um grande número de gabinetes de arquitetura e construção. Atualmente, estas tecnologias estão presentes apenas em institutos de excelência e grandes gabinetes, o que faz com que as metodologias apoiadas na fabricação não façam, ainda, parte da realidade do mercado de trabalho. No entanto, no contexto atual o acesso a máquinas de corte a laser é cada vez mais uma realidade, estando cada vez mais próximo de integrar o modelo de concepção arquitetónico.

107

fig_73
Contour Crafting
(CC)

Desta forma, a utilização de sistemas CAD/CAM no processo de concepção arquitetónica veio facilitar a exploração formal do objeto, pela sua capacidade de obter várias peças físicas do mesmo projecto, enriquecendo o processo criativo e a fabricação de componentes à escala real. Este processo torna-se vantajoso para todos os intervenientes ligados à arquitetura, tanto na qualidade e rigor que imprime, bem como no controlo de custos e melhor aproveitamento do trabalho de cada um.



3.5 Conclusão

A utilização prática dos sistemas CAD/CAM e das tecnologias digitais constitui assim uma mudança radical na natureza do processo arquitetónico, que encontrou desta forma a possibilidade de atingir formas geométricas complexas que há muito procurava, como vimos no capítulo 3.1. Este desenvolvimento tecnológico encontrou a solução para traduzir as formas complexas imaginárias em objetos concretos, traduzindo a passando do esboço, agora digital, para a fabricação. Para este desenvolvimento, foi essencial o apoio de software, adaptado muitas vezes de outras áreas de investigação, como foi referenciado nesse capítulo, que permite não só a transmissão do desenho mas também a procura da melhor solução de construção do objeto projectado. Se por um lado a introdução destes sistemas no panorama da arquitectura, por outro alguns escritórios de arquitetura foram pioneiros na exploração da potencialidade dos sistemas digitais, como por exemplo Zaha Hadid Architects, referenciado no capítulo 3.2. Dentro dos obstáculos naturais que qualquer evolução enfrenta, os sistemas digitais encontraram também problemas de aceitação nos gabinetes de arquitetura devido ao seu custo elevado bem como à falta de formação dos intervenientes na área de computação.

Os novos sistemas CAD/CAM, diretamente relacionadas com o conceito de arquitetura digital, estando na base de suporte para as novas atividades desta área: a progressão tecnológica da digitalização no esboço digital; a capacidade de geração de formas curvilíneas altamente complexas; a análise de modelos digitais usando softwares de simulação; a capacidade em expressar relações paramétricas; a prototipagem rápida de modelos arquitetónicos e a fabricação digital à escala 1:1, ou seja fabricação de componentes de construção.¹ O principal reflexo desta evolução digital está relacionado com a criação de uma linha contínua entre o projecto e a fabricação, trauidado do conceito file-to-factory, evitando perdas de informação e distorções dos conceitos que estavam na base de todo o processo, bem como a redução direta de custos.

1. Szalapaj, 2005, P. 751-752

A introdução das novas tecnologias digitais na arquitetura trouxe também uma maior flexibilidade de produção, bem como a possibilidade de personalização em massa, colocando a criatividade ao dispor de uma produção rápida e eficiente, tema explorado no capítulo 3.4. Alguns dos exemplos de investigação nesta área foram descritos neste capítulo, como o R.O.B. ou Counter Crafting, onde o desenvolvimento destes processos procura melhorar a capacidade de produção ao dispor da arquitetura e construção. Para autores como Neil Leach, o desenvolvimento dos sistemas digitais vem mudar a maneira de pensar dos intervenientes na construção, ideia reforçada por Schumacher, que não assume esta evolução como um conjunto de técnicas mas sim como um estilo de arquitetura, tal como foi referenciado nos capítulos 3.1 e 3.2.

Apesar das grandes vantagens dos sistemas digitais, como o maior rigor, qualidade e controlo de custos, o arquiteto tem ainda algumas barreiras para traduzir as formas (objetos) para a realidade física. Encontramos aqui então, uma clara diferença entre a realidade digital e possibilidade/realidade que os materiais permitem construir. Talvez por esta razão, encontramos atualmente discursos impeditivos da inclusão de novas tecnologias na arquitetura, precisamente por existirem dificuldades na realização material.¹

1. Sousa, 2005, P.28-33

PARTE III

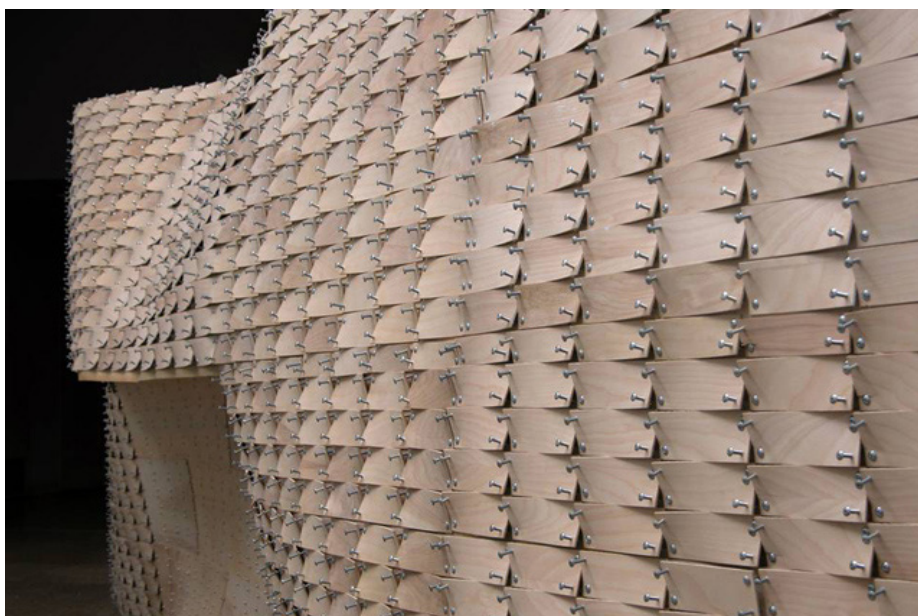
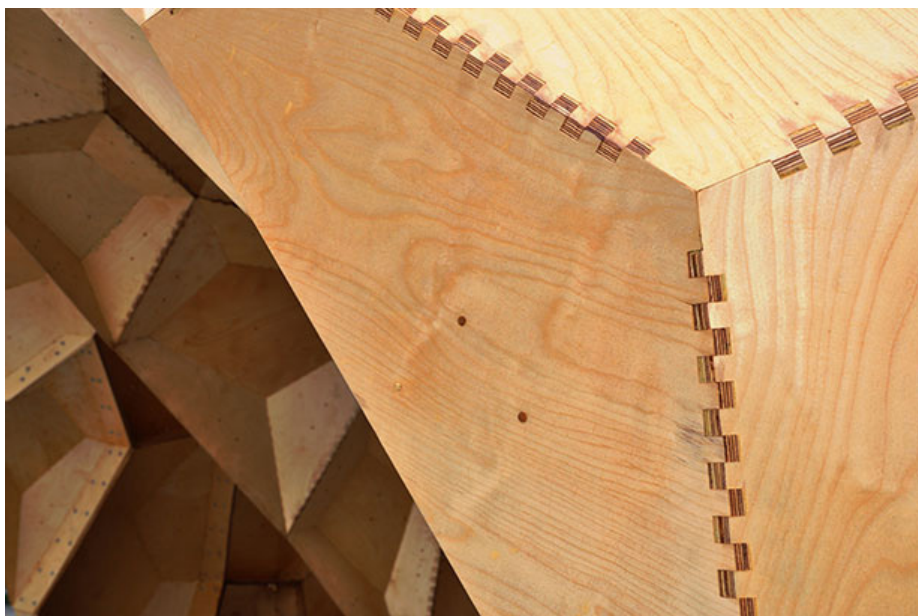
ESTRATÉGIAS ADOTADAS NA ARQUITETURA

CAPITULO 4

Após análise das três partes constituintes deste trabalho podemos constatar que hoje em dia, as tecnologias CAD/CAM são uma realidade na indústria da construção e exploradas na maioria dos principais ambientes académicos.¹ O interesse disciplinar neste campo tem crescido amplamente ao longo dos últimos anos. Vários autores, muitos deles já enunciados, têm escrito e editado publicações sobre esta problemática. Todos estes autores fornecem uma visão esclarecedora sobre as tecnologias CAD/CAM e as suas técnicas, quase todos eles analisam os seus antecedentes e a sua aplicação na disciplina, apresentam casos de estudo inovadores, delineiam o surgimento de novos conceitos e novos paradigmas de construção.

Nesta última parte pretende-se analisar e partilhar alguns trabalhos dedica-dos à utilização das ferramentas digitais com base ao recurso do CAD/CAM. Uma vez que os arquitetos utilizam cada vez mais ferramentas digitais para conceber e construir arquitetura, esta é transformada e evolui através da exploração de ambientes virtuais, associados à efemeridade, dinamismo, virtualidade e livre de limitações da realidade física, resultam num novo conceito: A Tectónica Digital.

1. a utilização de software de design digital e o recurso a ambientes de manufatura digital é cada vez mais uma realidade.no ambiente académico exemplo disso pode ser encontrado em qualquer disciplina de ambientes digitais.



4.1 CAMINHOS DIGITAIS NA ARQUITETURA

Explicar a Tectónica Digital¹ temos de entender que a palavra tectónica está diretamente relacionada com o material e a sua realidade construtiva. Por esta razão, a união deste dois termos não é pacífica e suscita algumas dúvidas na teoria da arquitetura contemporânea. Mesmo assim, é impossível negar que os ambientes digitais são cada vez mais utilizados para investigar a nova “manufaturabilidade” tectónica, encontrando-se inevitavelmente integrada e adaptada às ferramentas digitais e aos algoritmos que a produzem.² Beesley e Seeböhm definem a tectónica digital como “uma metodologia que integra a evolução e utilização de software de desenho com sistemas de construção tradicionais”³. Desta forma, o pensamento sobre a tecnologia computacional entra numa nova era, a Era da Informação, e este momento implica a avaliação crítica do papel da informática no processo de concepção e construção arquitetónica. A reflexão inicial que podemos fazer acerca deste novo conceito, tectónica digital, é observar e analisar o trabalho de Achim Menges⁴. Esta referência assume algum protagonismo devido à importância do trabalho deste autor. Achim Menges desenvolve processos evolutivos que derivam de sistemas polimórficos para gerar formas, no entanto a diferença deste para outros autores está na relação e estudo que ele faz com os materiais, nomeadamente a madeira. Mais à frente, neste trabalho, vamos analisar e ilustrar o trabalho deste arquiteto.

A arquitetura contemporânea procura dar maior relevância ao revestimento do edifício, promovendo a possibilidade de se tornar independente do rigor estrutural e construtivo, o que resulta em novas qualidades estéticas e expressivas, mas também em novas complexidades geométricas.

1. A oposição entre a cultura digital, associada à sensacionalidade, à efemeridade e a cultura tectónica, esta associada à construção pragmática, deu lugar a uma nova colaboração entre os dois domínios, a “tectónica digital”. Consiste em técnicas de fabricação computacional tornando-se parte integrante do processo de design, pois permitem aos arquitetos e engenheiros entender com muito mais detalhe, por exemplo, o comportamento do peso estrutural das superfícies ou simplesmente gerar novas formas arquitetónicas. Neil Leach entre outros é um arquiteto associado a este termo, conforme pode ser visto no seu livro “Digital Tectonics”.

2. Frampton, 1995

3. Beesley e Seeböhm, 2000, P. 287

4. Achim Menges, 1975, arquiteto e professor da Universidade de Stuttgart, é diretor-fundador do Instituto de Design Computacional (desde 2008) da mesma. A prática e pesquisa deste concentra-se no desenvolvimento de processos de concepção integrais e no cruzamento da morfogenética com o projeto de computação, engenharia biomimética e fabricação assistida por computador que permitem ambiente altamente articulados e construção performativa construída. Seu trabalho é baseado em uma abordagem interdisciplinar, em colaboração com engenheiros estruturais, cientistas da computação, cientistas de materiais e biólogos.

Não sendo os únicos responsáveis por esta postura, os sistemas CAD são os meios que permitem a exploração da nova expressividade, através da possibilidade tecnológica de produzir artefactos digitais interativos. Em conjunto com avanços científicos e tecnológicos ligados a outras áreas, cria-se um ambiente de inovação que promove uma busca por novos materiais e tratamentos de superfície, potenciando novas expressões formais da arquitetura.

Direta ou indiretamente, principalmente pelo impacto na sensibilidade arquitetónica que provocou, pode-se dizer que o Museu Guggenheim, já referido anteriormente, poderá representar o momento em que as dúvidas sobre a influência dos novos processos tecnológicos se instalam na crítica da arquitetura. Inicialmente, Gehry mostrou-se resistente em usar o computador no seu projecto, sugestionado pela ideia de que os programas digitais limitavam a arquitetura a simetrias, repetições e geometrias euclidianas simples.¹ Ao perceber a potencialidade do computador para traduzir a geometria complexa que propunha para os seus edifícios, Gehry entendeu que em vez de condicionar o desenho, este sistema permitia concretizar as formas complexas que idealizava nas suas maquetas. Este projecto marca assim o momento em que os projectistas, representados aqui por Gehry, ultrapassam as dificuldades de adaptação destes novos métodos de projectar e exploram uma nova tectónica na arquitetura. Nas palavras do próprio arquiteto: “Eu não gostava da imagem do computador. Assim que encontrei uma maneira de o usar para projectar, adaptei-me.”²

Com a procura da identidade de uma arquitetura digital ligada à tectónica, surgem novos desafios relacionados com a transformação da arquitetura no universo digital e à construção desses projectos concebidos a partir dessa informação digital. O projecto concebido através de ferramentas digitais assume, muitas vezes, formas complexas, difíceis de representar no plano tradicional, na seção e na elevação mas que a fabricação e construção digital permitiram resolver: “(...) Por pura necessidade, os arquitetos digitais tornaram-se estreitamente envolvidos na realização de edifícios digitais (...)”³

1. Szalapaj, 2005, P.752-753

2. Idem

3. Kolarevic, 2003. P. 57

Assim, vários arquitetos, investigadores e teóricos têm convergido para a uma tectónica anexada com o termo digital para simbolizar a poética do que é digitalmente concebido, estruturalmente e materialmente definido por uma fabricação direta da arquitetura.¹ Estamos perante a possibilidade de o computador não ser apenas uma ferramenta para o projecto, mas é um meio para o pensamento inspirador durante a concepção da ideia, um meio para produzir a lógica por detrás das formas mais complexas. Para Kolarevic, a adoção das novas ferramentas de projecto sugerem um corte com o passado, ao escrever: “As relações previsíveis entre o desenho e as representações estão abandonadas (...) A topologia, a geometria curvilínea são produzidas com a mesma facilidade como as formas planas euclidianas e cilíndricas, esféricas, ou formas cónicas.”²

Através dos processos de fabricação digital, a capacidade de trabalhar diretamente com os materiais, os componentes e as estruturas, limitada até então pela industrialização, pode ser aparentemente recuperada pelo arquiteto. Podemos dizer que é possível reintegrar o arquiteto na obra, de uma maneira semelhante ao que acontecia no passado, quando o mestre-de-obras (neste caso, o arquiteto) tinha a capacidade de controlar a construção, através do contato direto que tinha sobre os materiais envolvidos. Desta forma, a era digital transforma-se numa oportunidade de envolver, outra vez, o arquiteto na prática da arquitetura relacionada com a tectónica.³

Desta forma, os processos arquitetónicos digitalmente conduzidos caracterizam-se pela sua forma dinâmica imprevisível, dando origem a novas possibilidades arquitetónicas. Ao contrário do que acontecia no passado, esta nova fase da arquitetura não estabelece regras ou parâmetros que permitam controlar os resultados que se obtêm. A liberdade concetual que os novos materiais apoiados pelas novas ferramentas de projecto permitem, é a principal marca de arquitetura digital. Ao contrário do que se poderia julgar, a tectónica, como sensibilidade do material, não se perde, mas sim reconquista-se.

1. BEESLEY e SEEBOHM, 2000, P.287

2. KOLAREVIC, 2001a: P. 276

3. BEESLEY e SEEBOHM, 2000, P. 287

No entanto, a liberdade que nos referimos contínua condicionada pela realidade do meio em que se encontra, isto é, existem fatores que, apesar de não se encontrarem diretamente relacionados com o processo arquitetónico, têm influência na sua realização física. O custo associado aos equipamentos e materiais, a falta de mão-de-obra devidamente adaptada a este ambiente, bem como a resistência dos clientes mais comuns, são alguns desses fatores que permitem perceber que, apesar de neste momento a tecnologia permitir a produção de “quase” tudo, a realidade económica e social, bem como uma cultura menos aberta a estas questões, não permitem a utilização generalizada destes processos. Também a postura mais tradicional dos próprios intervenientes da construção serve de travão a esta rápida revolução digital.¹

1. Beesley e Seebohm, 2000, P.287.

4.2 CASE-STUDIES - ATELIERS DIGITAIS

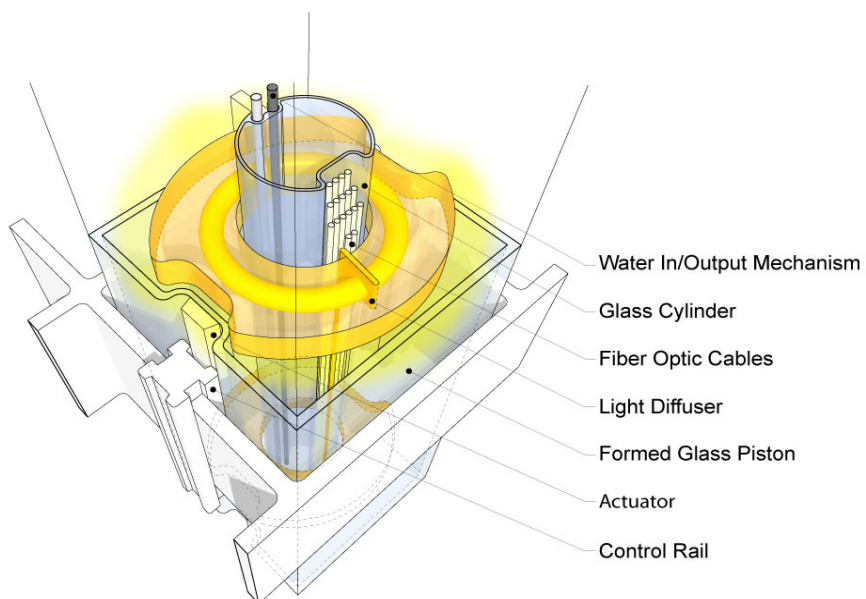
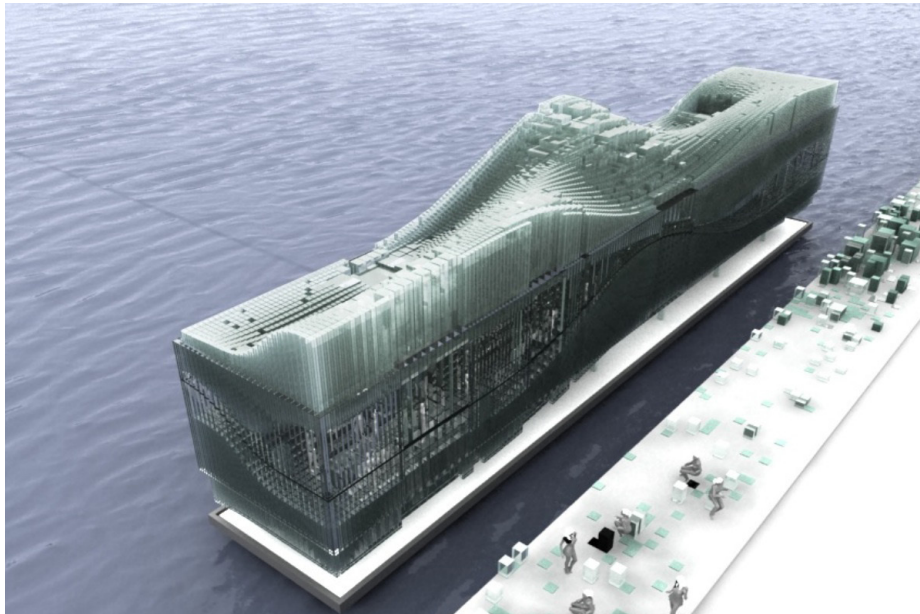
Após o enquadramento histórico e técnico das ferramentas digitais, torna-se interessante analisar alguns projectos e métodos de trabalho de alguns escritórios de arquitetura, de maneira a perceber o impacto que os sistemas CAD/CAM e toda a tecnologia digital tiveram na obra construída. Nesta fase do trabalho, foram analisados projectos de autores diversos, com especial atenção para os escritórios de Norman Foster & Partners e Frank Ghery & Partners, o Mit FabLab e Achim Menges. O objetivo é mostrar diferentes resultados em consequência de diversas implementações de tecnologias computacionais e, consequentemente, na possibilidade de definir a arquitetura digital.

O edifício Rose Center for Earth and Space¹, em Nova Iorque, é um exemplo do potencial dos sistemas computacionais para a representação e concepção arquitetónica. A esfera do planetário parece flutuar dentro do cubo de vidro que a envolve, aparentemente sem suportes, numa ilusão óptica. O revestimento da esfera com peças em forma de losangos, diferentes entre si, de maneira a formarem a curvatura, nunca poderia ser desenhado, produzido e montado sem o apoio de ferramentas digitais. O sistema CAD permitiu a percepção do conceito por parte dos responsáveis da obra, o que a representação convencional não conseguiria fazer.² As novas tecnologias permitiram desenvolver formas que simulam partes do universo, sendo assim uma das primeiras tipologias de edifícios a explorar essas potencialidades. Da mesma forma, são os edifícios públicos, de carácter mais lúdico, como museus, salas de espectáculos e edifícios simbólicos localmente que utilizaram mais rapidamente as ferramentas digitais no apoio à sua concepção, pela possibilidade de exploração de novas formas que tornassem mais marcante a sua presença no ambiente urbano.

119

1. James Stewart Polshek Partnership, 2000, integrado no Museu Americano de História Natural

2. Steele, 2001. P. 96



Cesar Pelli¹ é também referido, neste contexto, pela estratégia que utilizou nas Petronas Towers, utilizando software computacional para conseguir a forma complexa que as torres apresentam, baseada em motivos geométricos e arabescos, conjugadas com as condicionantes climáticas e de engenharia que se impunham. “Cada torre tem o seu eixo vertical, mas o eixo vertical da composição está no centro do vazio entre as torres”². Este equilíbrio complexo só foi conseguido através dos sistemas CAD que permitiram a simulação volumétrica dos edifícios.

Uma vez referida a relação direta da arquitetura com o desenvolvimento de novas tecnologias, Rafael Moneo³ destaca que as transformações mais evidentes no campo da arquitetura contemporânea são as formais, apontando duas características da arquitetura dos anos 90: a fragmentação e a não-forma.⁴ A fragmentação exprime a forma de olhar o mundo, onde já não faz parte uma visão unitária, pois existem diversos pontos de vista que oferecem diferentes explicações. Quando Moneo aplica o termo não-forma, aponta para uma forma arquitetónica que se dissolve na ação, ou seja, a percepção do objeto ganha autonomia, em detrimento dos valores formais. Se porventura a arquitetura, enquanto construção servia de cenário para o desenrolar dos acontecimentos e da atuação dos seus habitantes, agora a construção que incorpora a ação, renega a natureza estática e dissolve a forma definida.⁵

A exemplo de uma obra a que podemos associar o conceito de “não-forma” projecto HiDrone do grupo SPARC⁶, que consiste num espaço em galeria, em que as superfícies são constituídas por pistões hidráulicos, praticamente reconfiguráveis, que se enchem e libertam de água reciclada do rio Tamisa. HiDrone apresenta dois estados: quando está fechado, em que se apresenta como uma tela 3D, e quando aberto, apresentando-se como um espaço ocupável. O pistão opera claramente em várias escalas que variam de unidade de exibição e mobiliário, para um espaço amplo ou completamente inabitável. Ao controlar a quantidade de água libertada das unidades, o volume do objeto adquire diferentes configurações.

1. César Pelli (1926-) arquiteto argentino conhecido por construir as Torres gémeas Petronas.

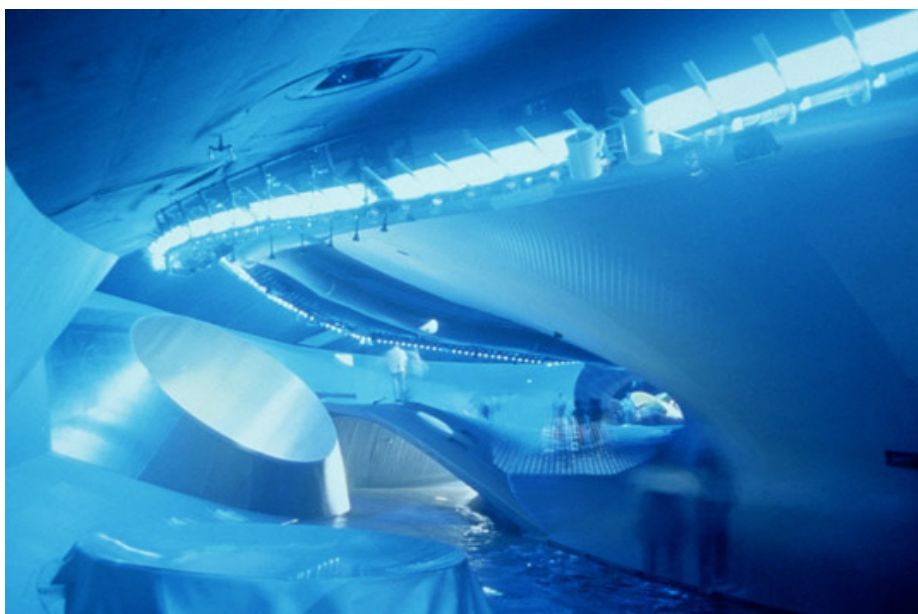
2. Steele, 2001: P.111

3. Rafael Moneo (1937-), arquiteto espanhol

4. Moneo, 1999: p. 17 -24

5. Idem

6. SPARC, equipa de arquitetos internacionais do MIT em Boston, intervenção de ambientes inteligentes aplicados ao campo arquitetónico, de design, urbanismo e arquitetura paisagística.



fig_83
Fresh Water
Pavilion,
(1997) de Lars
Spuybroek

No estado fechado, emissores de luz de fibra óptica produzem efeitos visuais e projectam imagens 3D para a cidade de Londres. No estado aberto, os pistões formam pisos, tectos, móveis e dependendo de sua configuração, a criação de espaços variados, como por exemplo, café, galeria, anfiteatro, etc.. Dependendo das necessidades programáticas e climáticas, a HiDrone é reconfigurável e reprogramável ao longo do ano, gerando atividade pública efémera como docas ao longo da margem do rio.¹

Como descreve Branko Kolarevic, a paixão pela geometria complexa despoletada em meados da década de 1990, foi-se transformando numa exploração computacional altamente trabalhada em efeitos superficiais, o que levou a uma nova abordagem da pele do edifício e da ornamentação por associação. O surgimento desta tectónica digital com base nas novas técnicas de desenho e produção abriu novos caminhos para a introdução do padrão, da textura e do relevo arquitetónico em superfícies.² Assim, "Técnicas de têxteis transformaram-se em técnicas digitais, a superfície transformou-se em estrutura e estrutura transformou-se em geometria. (...)"³

O escritório de Lars Spuybroek⁴, mais conhecido por NOX, segue uma abordagem em técnicas têxteis e efectua pesquisas nesse sentido a escalas diferentes. A indústria têxtil sempre foi intimamente relacionada com processos baseados em regras matemáticas, integrando-se desta forma na discussão da tectónica da arquitetura. O edifício Fresh Water Pavilion⁵, do escritório NOX, pode integrar-se no conjunto de projectos que exploraram este tema, utilizando as vantagens oferecidas pelos ambientes virtuais para produzir espaços pro-gramáveis. Esta característica é conseguida através da ligação de uma representação virtual para o mundo físico, através de uma vasta gama de painéis plasma e sensores de luz ligados a três diferentes sistemas interativos que funcionam em conjunto. Estes três sistemas accionam animações projectadas, um sistema de iluminação e um sistema de áudio, distribuídos por todo o edifício para criar um ambiente multimédia. Neste exemplo, a arquitetura tira partido das potencialidades do computador no seu estatuto mais direto, promovendo a interação dos visitantes

fig_84
Fresh Water
Pavilion,
(1997) de Lars
Spuybroek -
interior.

fig_85
Fresh Water
Pavilion,
(1997) de Lars
Spuybroek -
interior.

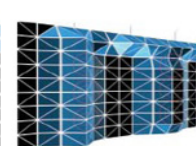
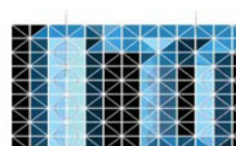
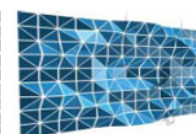
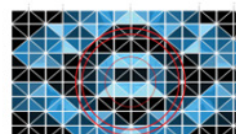
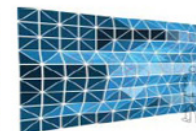
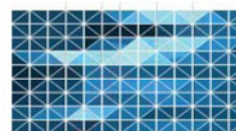
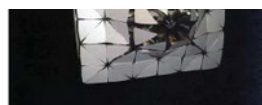
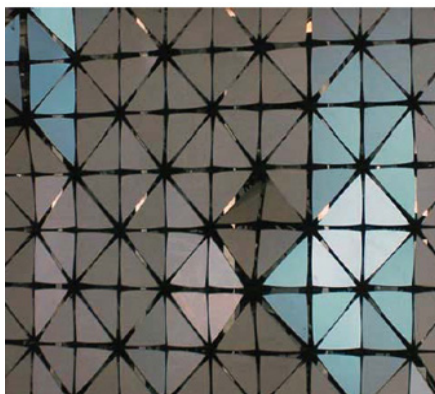
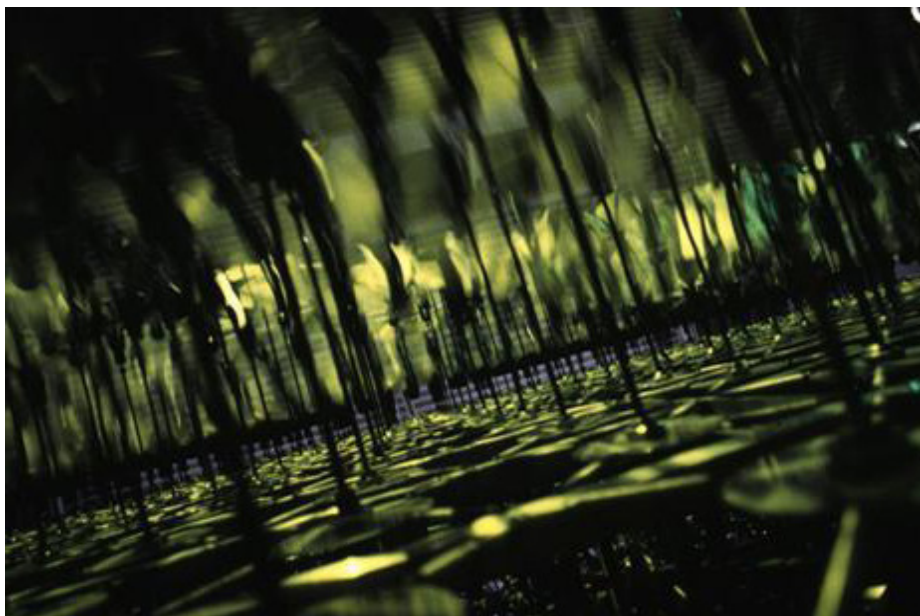
1. Informação disponível em archdaily.com/15014/ad-futures-4-sparc/

2. Kolarevic, 2003, P. 57-59

3. Baerlecken E Kobiella, 2008: P. 681

4. Lars Spuybroek (1959-) arquiteto e artista holandês, fundador do gabinete NOX, em Roterdão

5. Edifício construído para a Expo H2O, 1997



fig_86
"HypoSurface"
(2007) - DECOI

com a arquitetura. Embora ainda não seja uma forma física da arquitetura susceptível, este projecto sugere a possibilidade de produzir espaços completamente recetivos à ação do Homem.

As formas complexas apoiadas na tecnologia NURBS, através da geometria spline, potenciaram também a exploração de materiais com capacidade expressiva para se adaptar às novas formas de uma maneira contínua, tal como o modelo 3D. Bernhard Franken enuncia esta questão em vários dos seus projectos para a BMW, como uma tentativa explícita de ocultar as conexões dos componentes de maneira a alcançar a mesma aparência contínua, característica dos carros fabricados pelo seu cliente.¹

fig_87
Pormenor dos
pistões do
"HypoSurface",
(2007) - DECOI

O trabalho dos arquitetos DECOI², o "Aegis Hypo-Surface", é um sistema construído sobre uma estrutura de pistões pneumáticos, molas e placas de metal, usadas para deformar a superfície de fachada. O efeito do movimento das diferentes placas permite uma interessante interação com o público ao oferecer uma fachada realmente dinâmica, que se altera consoante a informação que lhe é enviada. Um computador foi programado para disparar cada pistão sequencialmente, a fim de produzir uma série de padrões que respondem a estímulos sonoros ambientais.³ Assim, o trabalho do escritório DECOI não tenta oferecer soluções funcionais para um novo tipo de arquitetura, mas explorar as potencialidades do computador no espaço arquitetónico. Este sistema permite que a superfície se apresente como uma espécie de "líquido controlado", onde diferentes efeitos podem ser introduzidos, como ondas, padrões, logótipo ou até texto.

fig_88
"HypoSurface"
(2007) - DECOI

Greg Lynn⁴, desenvolveu várias estratégias de criação de aberturas na pele que envolve o edifício: a superfície lisa foi adaptada face às exigências pragmáticas da luz e do ar que entra nos edifícios.

1. Kolarevic, 2001, P.276

2. A DECOI foi criada em 1991, apresenta-se como prática de uma arquitetura especulativa, os seus autores Mark Goulthorpe, Yee Pin Tan, Zainie Zainoul, desenvolvem plataformas criativas e formas interativas.

3. Informação disponível em HYPOSURFACE.ORG e em ARCHILAB.ORG

4. Greg Lynn (1964-) arquiteto e professor fundador do escritório FORM. Greg Lynn distingue-se pelo uso de computer-aided design para produzir formas arquitetónicas irregulares, formas biomórficas, propõe que com o uso do computador, o cálculo pode ser implementado na geração da expressão arquitetónica.

Como resultado, as superfícies retalhadas assumem um ritmo de mudança suave, com padrões de vazios alternados, que tanto podem desmaterializar a “pele” ou unificá-la. A direção da visualização também interfere no resultado e adiciona-lhe um sentido de escala. Assim, este efeito pode prever um subtil efeito óptico dinâmico, resultante do ângulo de mudança dos olhos do espectador na superfície.

4.2.1 HERZOG & MEURON

Herzog & de Meuron¹ destacam-se pela exploração do padrão, da textura, do relevo e dos efeitos que o material produz nas superfícies. A geometria aparentemente minimalista da construção, muitas vezes envolta numa “pele” decorativa, caracteriza a sua assinatura. Na Alemanha, a Biblioteca de Eberswalde, uma caixa horizontal convencional é constituída por painéis de betão e vidro serigrafado. Em Minneapolis, USA, o Museu Walker Art, similarmente, apresenta uma “pele” de malha de alumínio amassado, numa mistura entre opaco, translúcido e transparente. A ornamentação não está limitada apenas à pele do edifício, mas também às superfícies interiores, que são igualmente decoradas por padrões de corte em madeira ou relevo em painéis de metal.² A escala da ornamentação varia em quase todos os projectos de Herzog & Meuron. Por exemplo, em San Francisco, o Museu De Young, as suas fachadas exteriores são compostas por mais de 7.000 painéis de cobre, cada um dos quais com corte cilíndricos singulares únicos e padrões de gravação captadas a partir imagens das copas das árvores circundantes. As perfurações circulares e recortes produzem imagens abstratas quando vistas de longe. A tela de revestimento é decorativa, mas também tem um propósito puramente funcional que é ocultar o sistema de ventilação integrada e difundir a luz exterior nas galerias interiores. Uma abordagem funcional na ornamentação é típica em muitos projectos de Herzog & de Meuron, possivelmente fomentados pela utilização de ferramentas digitais, que permitem a fabricação de peças únicas para seres posteriormente estudadas.

Ainda que se enquadrassem num ambiente tecnológico distinto (nos anos 60), o grupo Archigram³ tinha em consideração algumas destas ideias relaciona-das com o poder da máquina na arquitetura, rompendo com a tradição instalada. Os desenhos publicados faziam referência a uma realidade intrinsecamente relacionada com a

1. Herzog & de Meuron é um escritório de arquitetura suíço com sede em Basel, os fundadores e parceiros Jacques Herzog (1950-) e Pierre de Meuron (1950-) foram agraciados com o Prémio Pritzker em 2001.

2. Informação disponível em herzogemeuron.com

3. Archigram, grupo de arquitetos Ingleses (1961) com base na Architectural Association School of Architecture (AAA), em Londres, o objetivo do grupo era captar um diálogo próximo do contexto cultural da época. Utilizam a tecnologia como forma de expressão para criar projectos hipotéticos, na tentativa de resgatar as premissas fundamentais da arquitetura moderna.



fig_89
Biblioteca de
"Eberswalde"
(1999) - Herzog &
de Meuron

grande evolução tecnológica, não só digital mas também de mobilidade e comunicação, aproximando-se da ficção científica.

É de salientar que no meio do imaginário dos seus autores, estes projectos pressentiam a liberdade e a flexibilidade que a arquitetura acabaria por assumir, marcada por uma instabilidade provocada por constantes alterações.

O grande desafio da arquitetura digital é a unidade entre a estrutura do revestimento (pele) e o ornamento, reintegrando a regra de Vitruvius "firmitas, utilitas e venustas", através da produção digital impulsionada pelos processos que prevêem a variabilidade volumétrica, a forma, a textura e aparência. São experiências com aplicações arquitetónicas que oferecem a capacidade sem precedentes, de projectar efeitos nos materiais, controlando assim digitalmente todo o procedimento material. Podemos falar, neste contexto, de um conceito recente - o da arquitetura interativa.

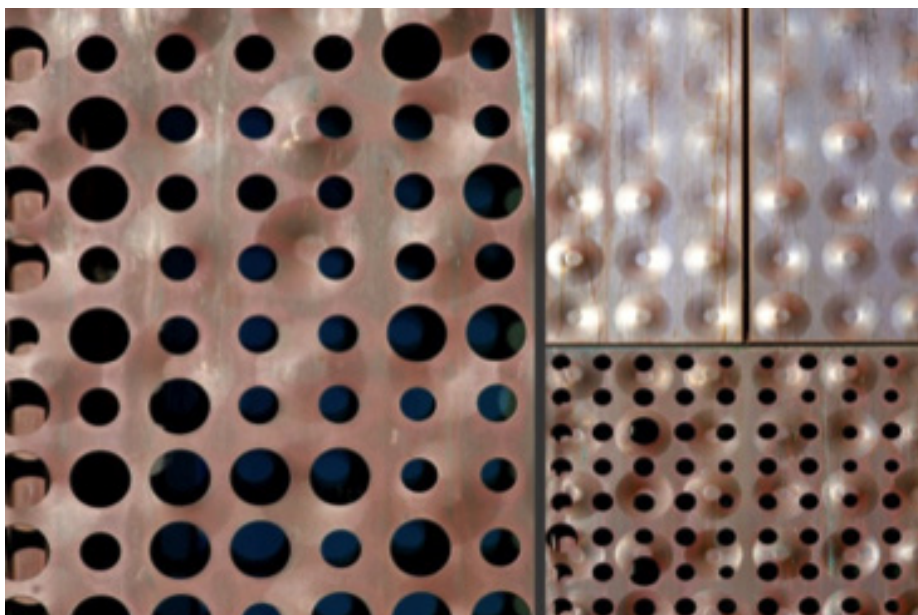
A arquitetura interativa é quando a tecnologia desempenha um papel ativo na vivência do espaço, interagindo de diversas formas com o utilizador. A matéria física da construção arquitetónica interage com o utilizador, fazendo depender o seu estado da percepção/acção que este tem no espaço. Ainda que se possa refutar, dizendo que a arquitetura, na sua essência, existe apenas quando o Homem interage com ela, e por isso, os sistemas digitais não inventaram a arquitetura interativa, é difícil negar a potencialidade que estas novas ferramentas digitais acrescentam neste campo. Assim, as novas potencialidades interativas, formais e de revestimento, vieram alterar definitivamente a forma como as pessoas se relacionam com o edifício. É importante perceber que esta ideia pode não se prender apenas com questões formais e de espectáculo. Por exemplo, num museu podem ser questões funcionais que justificam a flexibilidade de espaços expositivos que se alteram consoante o tipo de exposições.¹

O projecto, cidade de Flamenco (2003) é um complexo cultural que inclui um auditório, um museu, uma escola e um centro documentação. Este projecto está situado no centro de Jerez de la Frontera, cidade espanhola na província de Cádiz. O projeto apresenta um edifício com alçados parcialmente perfurados, uma torre especialmente

fig_90
Museu Walker Art
(2005) - Herzog &
de Meuron

fig_91
Museu "De Youn"
(2005) - Herzog &
de Meuron

1. Alonso, in *Arte, arquitetura y sociedad digital*, 2007: P.107-109



fig_92
Museu "De Youn"
(2005) - Herzog
& de Meuron
Pormenor de
fachada

trabalhada cuja escala recorda as torres de Alcazar. Para além do edifício também é composto por um jardim murado.

A materialidade do projeto é reduzida ao uso tradicional da pedra atribuindo uma certa homogeneidade com o resto da cidade velha. As paredes perfuradas, bem como o interior do jardim, formam uma topografia "extrudida", gerando uma interação dinâmica entre os espaços exteriores e interiores. As superfícies consistem em betão perfurado digitalmente processado, com a ideia subjacente de seguir linhas, formas e padrões de tradição cigana e ornamentação árabe. "Uma topografia artificial e iconográfica cujo espírito baseia-se nas tradições do mundo cigano, o mundo árabe, e da vida cotidiana contemporânea e da cultura."¹ Ambas as tradições são extremamente contemporâneas, se analisarmos, elas foram desenvolvidas durante séculos e incentivam inspiração para a arte contemporânea e cultura quotidiana.

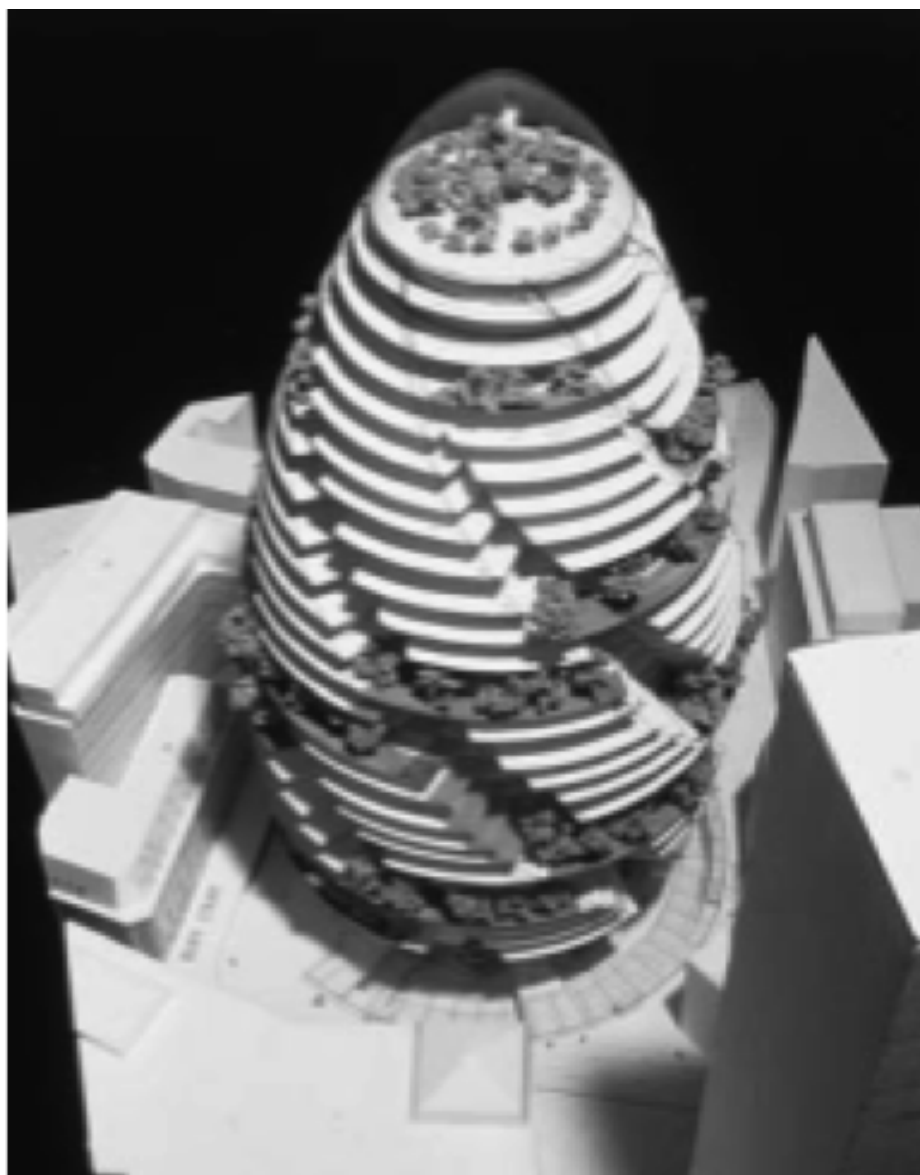
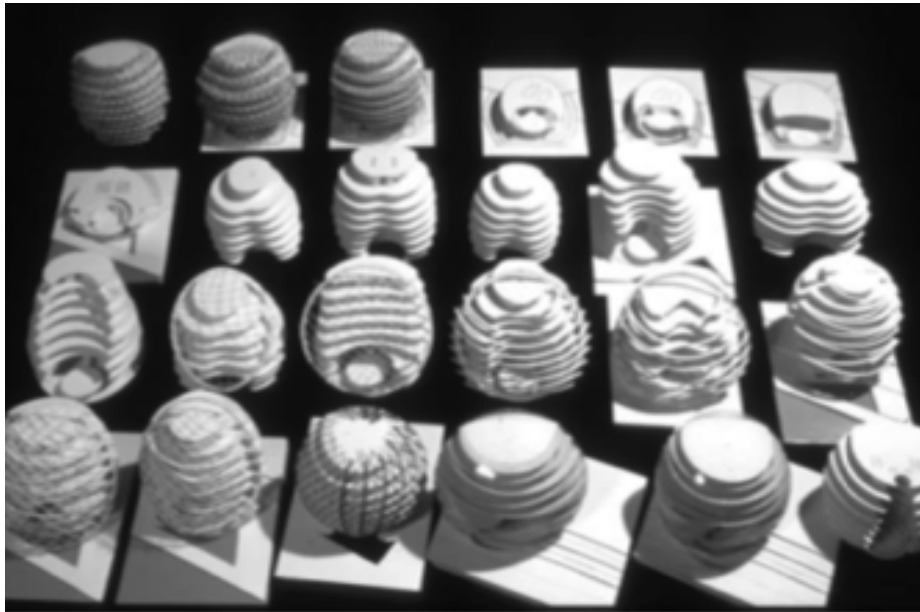
Especial relevância deste exemplo está no método utilizado para conseguir a ornamentação apresentada. A fachada tinha que cumprir diferentes funções, que acabariam por definir os parâmetros da ornamentação.

Outro aspecto relevante foi a consideração estática, o peso do edifício teve de ser transportado para ornamentação exterior. Por esta razão, foram definidos pontos onde a carga das lajes eram conduzidos para a fachada. Foram projetadas formas especiais e precisamente colocadas na fachada para esta função ser cumprida. Outra exigência era ter aberturas maiores para permitir o acesso dos bombeiros em caso de incêndio. O aspecto final foi então conseguido depois de terem sido tomados em conta vários fatores e condicionantes que serviram para parametrizar a fachada. O desenho final não passa de um desenho convencional, com a partes todas planificadas e prontas a serem fabricadas através de máquinas CNC.

fig_93
Ciudad del
Flamenco, Jerez
de la Frontera,
(2005) - Herzog &
de Meuron

fig_94
Ciudad del
Flamenco, Jerez
de la Frontera,
(2005) - Herzog &
de Meuron

1. Frase retirada do site: Herzog & De Meuron in : <http://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/226-250/240-ciudad-del-flamenco.html>



fig_95
Experiências do
projecto Great
London Authority
(2002) de
Norman Foster,
em impressão
3D.

4.2.2 NORMAN FOSTER + PARTNERS

A fabricação de modelos de estudo físicos (maquetas) desempenhou sempre um papel importante no desenvolvimento do projecto arquitetónico na maioria dos escritórios de arquitetura. Disto não é excepção o escritório Foster+Partners. No sentido de responder as novas complexidades da arquitetura, o escritório desenvolveu sistemas de apoio à produção da arquitetura, através de uma seção própria e responsável por isso, chamada Specialist Modelling Group (SMG).¹ Este sistema mantém a ideia de arquitetura que Foster defende desde o início da sua carreira, de que o edifício deve resultar de um projecto colaborativo, entre as várias áreas da construção, que trabalham em conjunto, envolvendo atualmente técnicos especializados nas questões ambientais e energéticas. Para envolver todos num processo eficaz tornou-se necessário criar uma matriz comum que permitisse traduzir as necessidades de cada profissional em modelos geométricos mais simples, conjugados entre si numa mesma solução e que permitisse também completar o ciclo de fabricação, recorrendo à manufatura digital. Através deste sistema, projectistas, consultores e fabricantes envolvem-se no projecto e responsabilizam-se desde o início pelo resultado obtido.

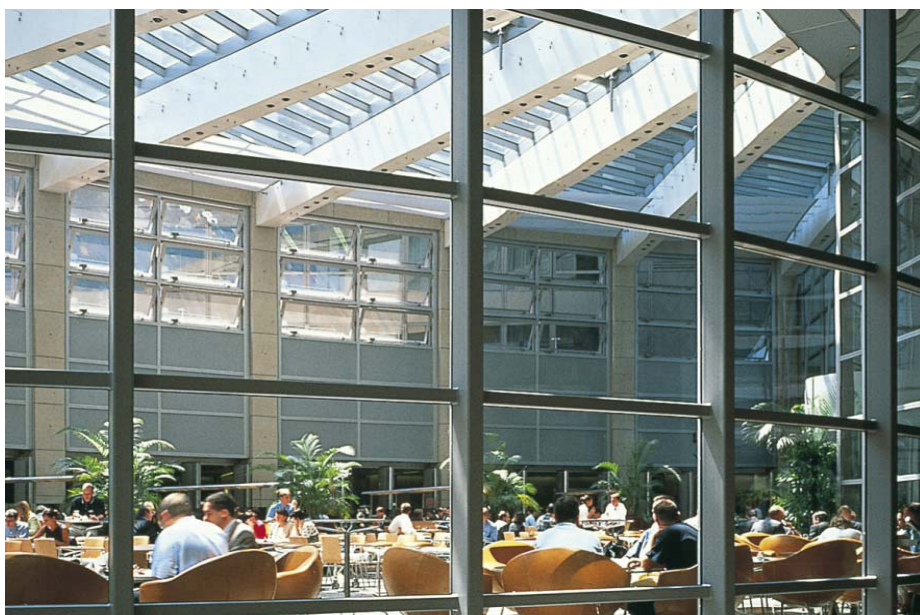
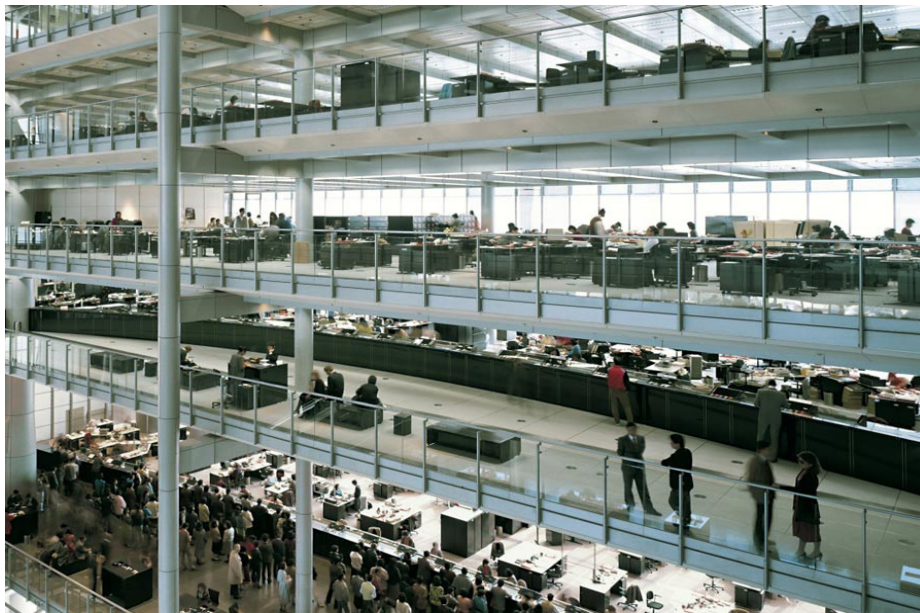
A maioria dos modelos é executado através da Estereolitografia (SLA) ou Sinterização Selectiva a Laser (SLS), isto porque estes processos são mais adequados para a produção de modelos de apresentação final. Assim, a Foster+Partners adoptou a prototipagem rápida como uma componente chave do seu processo arquitetónico, transformando-a numa parte essencial no desenvolvimento de muitos projectos. Com a criação de uma seção própria dedicada a este tema, o escritório produz, atualmente, cerca de 3.500 modelos através da prototipagem rápida, por ano.²

Para entender a adoção das ferramentas digitais no processo arquitetónico de Foster, é importante perceber a evolução de alguns dos seus projectos, na impossibilidade de abordar aqui todos eles.

1. Kestelie, 2008, P. 383-384

2. Idem

fig_96
Experiência do
projecto Swiss
Re (2004) de
Norman Foster,
em impressão
3D.



fig_97
Renault
Distribution
Centre (1982) de
Norman Foster.

Assim, um dos primeiros trabalhos deste escritório, o Sainsbury Centre, permite entender as primeiras abordagens do arquiteto na interação com a produção industrial: uma estrutura regular que abrange todas as funções num único espaço, mostrando a integração do desenho industrial na sua arquitetura. A postura que o autor defende em todo o projecto pode designar-se por Integrated Design, no sentido de envolver todos os intervenientes do edifício desde o início do processo até ao seu fim. Apesar de nem sempre levar ao limite este pressuposto, o autor defende que o desenho interdisciplinar deve dar resposta, desde o início do projecto, aos problemas de estrutura, fabricação, construção e comportamento ambiental em paralelo e não individualmente. Esta imagem colaborativa do projecto, que Foster defendia, permite entender as primeiras aproximações do desenho do arquiteto aos processos de fabrico, desenvolvido ao longo dos seus trabalhos nos anos seguintes. Os métodos de produção em massa, através da criação de elementos distintos, feitos especificamente para um projecto em particular, são adotados por Foster e assumem, desta forma, um papel de grande relevância na sua obra.

fig_98
Hongkong ann
Shanghai Bank
Headquarters
(1986) de
Norman Foster –
interior.

No Renault Distribution Centre, Reino Unido (1982), Foster enfatiza a utilização de peças industrializadas, à imagem dos automóveis desta marca, na sua estrutura exterior pintada de amarelo. Apesar de utilizar um módulo repetido ao longo da cobertura, cada elemento foi pensado para desempenhar um determinado papel, recorrendo à colaboração entre métodos de produção tradicional de ferro com sistemas apoia-dos digitalmente para o corte dos elementos. Foster percebe aqui o potencial que as ferramentas digitais demonstram ter na capacidade de colaborar diretamente com o arquiteto e de permitir atingir os objetivos que procurava para a sua arquitetura, através da utilização de materiais menos comuns.

fig_99
Interior do
Commerzbank
Headquarters
(1997) de
Norman Foster.

Na sequência deste processo, surge o edifício Hongkong ann Shanghai Bank Headquarters, em Hong Kong (1986), apontado como o primeiro grande exemplo de arquitetura High Tech, onde o arquiteto põe em evidência a ideia de máquina de construção.



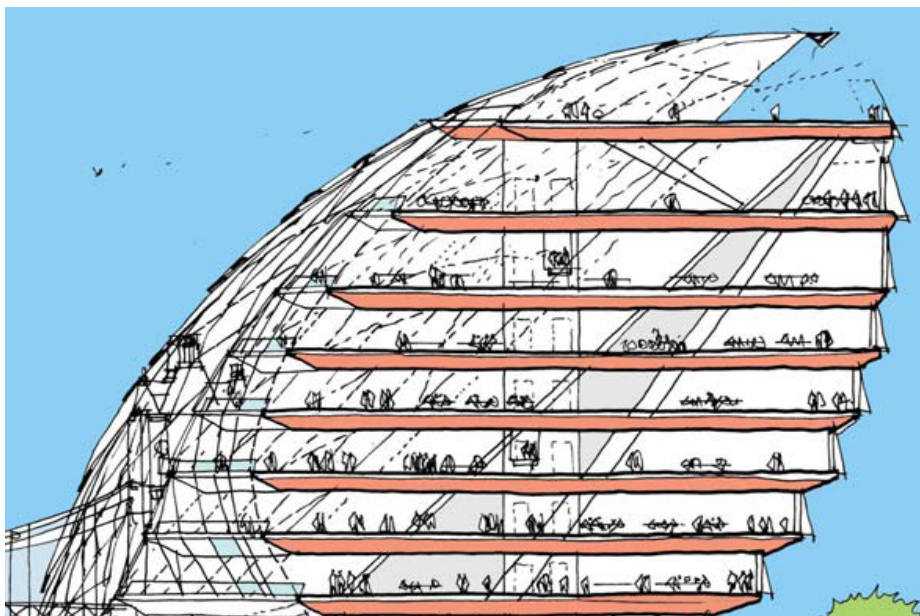
fig_100
Swiss Reinsurance
Company, (2004)
de Norman
Foster.

A estrutura em aço revestida por painéis modulares metálicos e janelas venezianas de alumínio são a imagem do edifício. Estes elementos foram criados através de sistemas CAD/CAM, incluindo máquinas de corte de peças metálicas, utilizadas a uma grande escala. Assumindo-se também como arquitetura futurista, como uma máquina gigantesca, o edifício apresenta formas simples, com espaços alimentados por uma rede de sistemas técnicos que se apresenta no exterior. O dono da obra procurava ter o edifício mais bonito da cidade e com ele mostrar o seu poder. Estas ambições foram traduzidas para a arquitetura através da imponência visual do edifício na envolvente, do grande átrio iluminado por luz solar, da grande flexibilidade da planta e da abertura pública no rés-do-chão.

fig_101
Pormenor da
Fachada do
Swiss Reinsurance
Company, (2004)
de Norman
Foster.

Nos seus projectos, Foster demonstra um grande compromisso com a eficiência energética e programas altamente funcionais, desde a escala urbana até ao edifício mais simples. Foster tem vindo a associar a arquitetura High Tech ao desenho High Performance. Por esse motivo, a utilização dos sistemas digitais é encarada como auxiliar ao desenho mas também como promotora de uma arquitetura eficiente. Um exemplo desta postura é o Commerzbank Headquarters na Alemanha (1997), que constitui o primeiro arranha-céus que permite a abertura das janelas para ventilação natural, excedendo os elevados standards na Alemanha. Para testar os sistemas ambientais inovadores que foram utilizados neste edifício, Foster utilizou técnicas de modelação dinâmica, como Computational Fluid Dynamics (CFD). Também na Torre de Escritórios Swiss Reinsurance Company em Londres (2004) e no edifício Greater London Authority (GLA) também em Londres (2003) estas técnicas foram utilizadas. Qualquer um destes projectos, evoluíram de formas simples para geometrias mais complexas através do uso destas tecnologias, de maneira a encontrar a melhor solução do ponto de vista energético e ambiental. Através da simulação solar, dos ventos, das cargas estruturais ou da ventilação natural, os novos métodos de apoio ao projecto permitem atingir a forma ideal do edifício, adequando-o ao lugar onde é implantado e às novas preocupações energéticas e ambientais.

fig_102
Greater London
Authority, (2003)
de Norman
Foster.



fig_103
Greater London
Authority, (2003)
de Norman
Foster.

No edifício Greater London Authority utilizou a forma curva por razões sustentáveis, pois apresenta menos 25% de superfície do que uma forma ortogonal, para o mesmo volume de ocupação. Este projecto permite demonstrar como a utilização de ferramentas digitais no apoio à construção arquitetónica pode ser impulsionada por razões de carácter sustentável, ao permitir comparar as actuações ambientais de diferentes soluções, na procura do melhor desempenho. A forma deste edifício é assim o resultado, quase exclusivo, de trabalho realizado em software CAD.

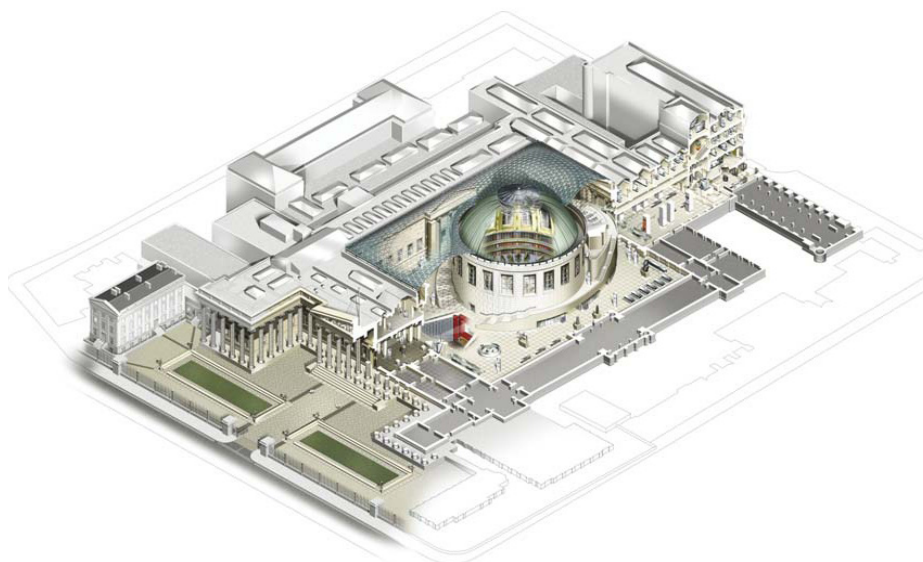
fig_104
Greater London
Authority, (2003)
de Norman
Foster – corte
ilustrativo.

A Torre Swiss Reinsurance Company foi projectada com base em conceitos radicais que envolveram a técnica e a expressão arquitetónica e espacial, no sentido de atingir os objetivos dos donos da obra – a inovação. A sua forma aerodinâmica permitiu atingir um desempenho sustentável (principalmente através da ventilação natural que apresenta) ao mesmo tempo que marca radicalmente a imagem do edifício, alterando a normal percepção de um monótono arranha céus de betão, comum nas grandes cidades.¹

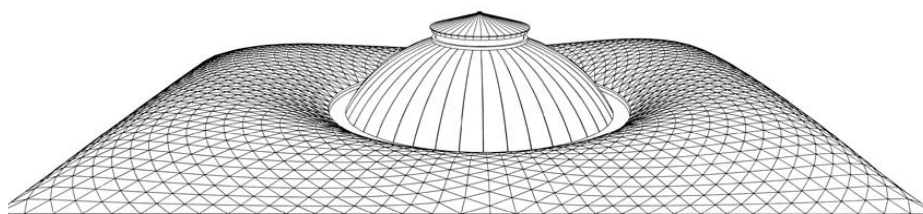
Estas experiências de Foster enfatizam o uso do computador, mas apresentaram-se como uma extensão natural do seu compromisso inicial com a ideologia High Tech. Com a facilidade de exploração da geometria mais complexa, Foster experimentou também formas mais arrojadas, como a cobertura do pátio central do Museu Britânico. Este projecto representa um bom exemplo do que as novas tecnologias permitem à arquitetura e à engenharia: projectada por computador, fabricado por robôs e construído através de uma grua. É assim a ligação do conceito, fabricação e execução direta no local. O equipamento de levantamento especializado garantiu que a geometria complexa do telhado fosse traduzida com a máxima precisão projectual em relação à realidade pretendida. Foster projecta o telhado, associado ao engenheiro de estruturas Buro Happold, sobre uma parte do edifício do séc. XIX, designada por Reading Room.

fig_105
Great Court
at the British
Museum,
(2000) de
Norman Foster –
cobertura

1. Steele, 2001: P.102



140



fig_106
Great Court
at the British
Museum, (2000)
de Norman
Foster – Modelo
3D

A nova cobertura assume uma forma toroidal¹, gerada pela rotação de um arco em circunferência em torno de um eixo central, colocado no centro do pátio do edifício existente. A forma do telhado foi projectada e construída através de técnicas de modelação paramétrica, em colaboração com a engenharia, na procura de uma solução estrutural bastante complexa. Os pontos fixos e os limites estabelecidos da forma foram os nós interiores do espaço circular em relação aos pontos retangulares externos do limite. O software permitiu explorar a solução, verificando as cargas e os deslocamentos máximos da estrutura, de maneira a desenvolver a forma dinâmica resultante. O modelo utilizado determinou a quantidade e o desenho de cada elemento estrutural, permitindo a sua otimização para atingir os valores ideais da forma do telhado.²

fig_107
Great Court
at the British
Museum, (2000)
de Norman
Foster – estrutura
da cobertura em
3D.

O resultado foi um telhado contínuo e fluido, em forma de concha. Esta fluidez observa-se quando se verifica a ligeira curvatura sobre a pedra existente dos pórticos centrais do edifício central em relação às fachadas do edifício existente.³ O fato de o Reading Room não estar localizado exatamente no centro do pátio, levou a uma solução geométrica completamente irregular e que teve de ser efectuado com a colaboração de um programa de computador.⁴

141

A relação destes projectos com as ferramentas digitais mostram a postura de Foster perante a arquitetura, onde a exploração de novas formas e novas experiências espaciais resulta de uma utilização consciente dos meios disponíveis, na procura do melhor desempenho funcional, ambiental e energético. Os sistemas CAD/CAM vieram assim permitir a colaboração entre profissionais envolvidos nos seus projectos, de maneira a encontrar em conjunto a solução mais adequada aos seus objetivos iniciais.

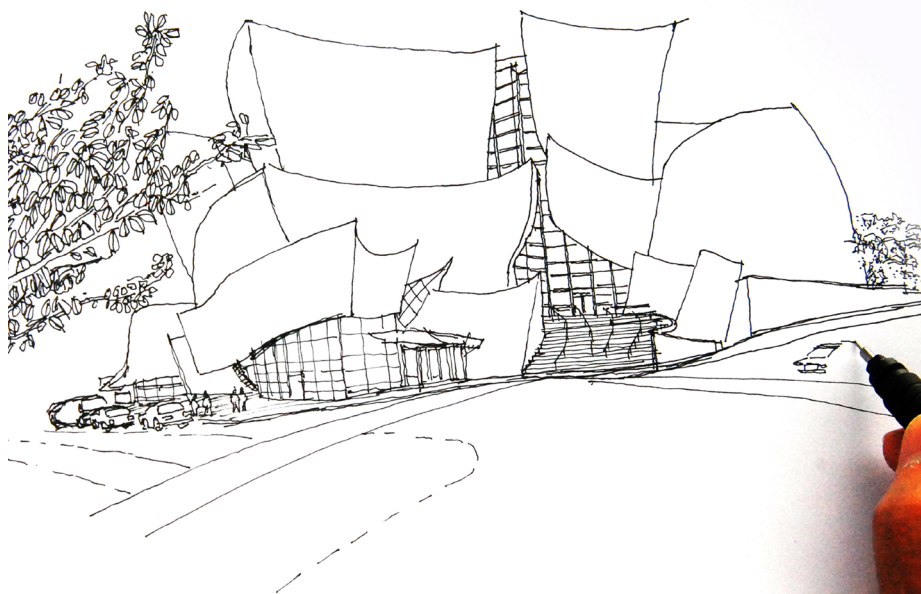
fig_108
Great Court
at the British
Museum, (2000)
de Norman
Foster – interior.

1. Matematicamente, um toróide é um objeto em forma de anel, como um anel de vedação. A forma anular é gerada pela rotação de uma figura geométrica plana sobre um eixo externo. Quando o rectângulo é gerado em torno de um eixo paralelo a uma das suas bordas, de seguida, é criado um cilindro oco, semelhante a um pedaço de tubo recto. Se o valor gerado é um círculo, então a superfície do objeto é conhecido como um toro.

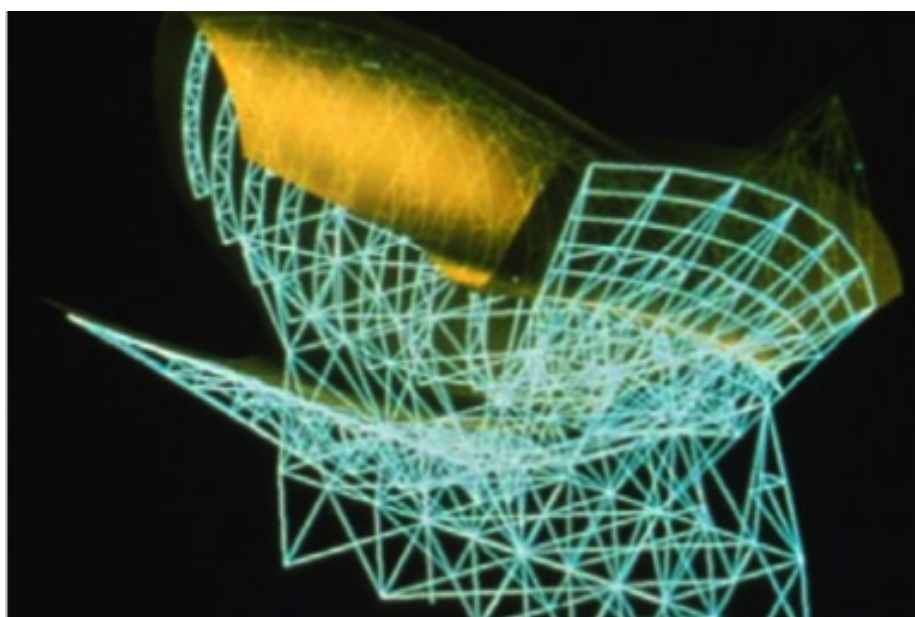
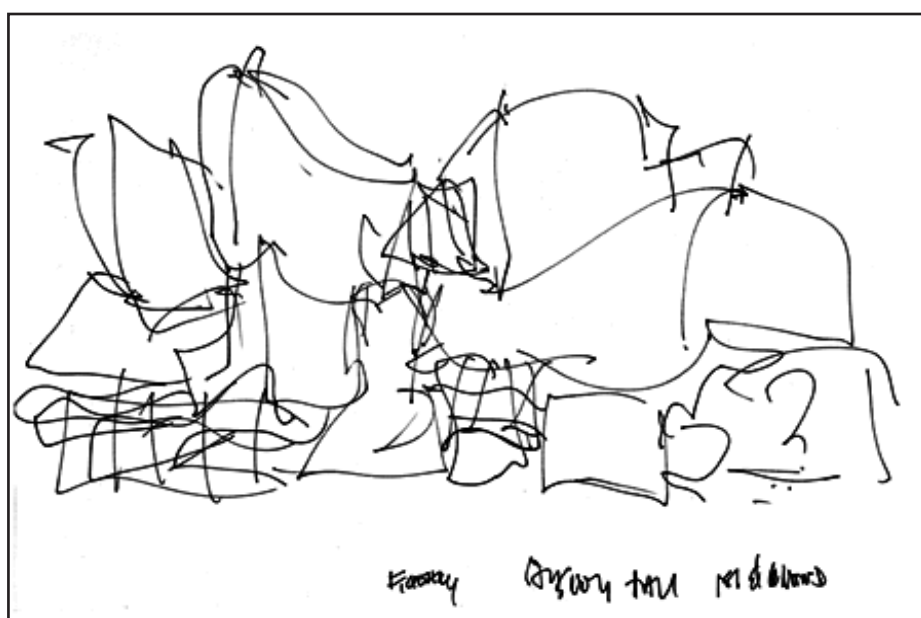
2. Foster, Sudjic, Grey, 2001: p. 46

3. A cobertura cobre uma superfície de 100 metros por 70 metros, e tem variações de vãos que oscilam entre os 14 metros e os 40 metros. A estrutura pesa perto das 800 toneladas, precisamente 478 toneladas em ferro e 315 toneladas em vidro. Foram colocados 3312 painéis de vidro. (idem)

4. Idem: p.142



142



fig_109
Esquisso de Frank
Ghery do Walt
Disney Concert
Hall

4.2.3 FRANK GHERY

Durante as duas últimas décadas, o escritório de Frank Gehry desenvolveu abordagens únicas e inovadoras no processo arquitetónico e sistemas de construção extremamente complexos. Isto só foi possível recorrendo a novos conceitos e estratégias que surgiram através do desenvolvimento de metodologias do escritório ligadas à computação e simulação artificial.

É importante referir que Ghery é exemplar na integração/cooperação de dois mundos: o físico/tradicional e o digital. Segundo Dennis Shelden, o objetivo principal do escritório de Gehry é representar, de forma adequada, as intenções materiais e os artefatos, em formato digital. A dicotomia entre o físico/digital e a tensão existente entre estes dois métodos de representação, tornaram-se fundamentais para o sucesso projectual do escritório. Existe no processo arquitetónico uma afinidade entre intenções de desenho heterogéneas, incorporadas em múltiplas representações físicas, e representações computadorizadas coerentes.¹ A primazia de Frank Ghery em construir objetos físicos como ponto crucial para exploração concetual, impulsiona a arquitetura para além dos limites da lógica euclidiana, ao possibilitar a criação de formas livres modeladas pelas próprias mãos do arquiteto. Na metodologia de Gehry, a análise Gaussian é usada para avaliar o grau das curvaturas dos componentes de construção, particularmente as superfícies, os painéis e os revestimentos. As equações das curvaturas são usadas para calcular as taxas de variação das tangentes das superfícies às linhas normais em cada ponto de qualquer superfície.² Os graus da curvatura, juntamente com as propriedades dos materiais, são representados em modelos 3D, permitindo assim avaliar e identificar as áreas problemáticas, ou seja, através do modelo consegue-se medir tensões, flexões e comportamentos dos materiais, utilizando sempre esquemas solucionais.³ A análise Gaussian indica se a curvatura do material está, ou não, dentro dos limites de tolerância, e se vai ser dispendioso, ou não, para fabricar.

fig_110
Esquisso de Frank
Ghery do Walt
Disney Concert
Hall

fig_111
Modelo digital
da Escultura Vila
Olímpica Fish,
Barcelona (1992),
de Frank Gehry.

1. Shelden, 2002 P. 23-24
2. Szalapaj, 2005, P.144
3. Idem: P. 145



fig_112
American
Centre, (1998)
Paris, de Frank
Gehry.

Os sistemas CAD/CAM, como qualquer outro sistema operativo, precisam de um “especialista” para conduzir os processos e procedimentos necessários para cada instrumento particular (software e hardware). Isto introduz um novo papel no processo de concepção em que o arquiteto, normalmente responsável pela criação da documentação do projecto, tem que ser também especializado nesta área. No entanto, os gabinetes envolvidos em grandes e complexos projectos, têm a necessidade de separar os papéis dentro do próprio gabinete, de modo a distinguir a responsabilidade de cada setor. Um exemplo disso, é o Gehry Partners e da recém formada Gehry Technologies, que destaca um técnico responsável pelas ferramentas digitais na equipa de projecto. No que diz respeito à fabricação das informações do projecto, sob a forma de 2D ou de modelos digitais 3D, estes são à partida elaborados segundo critérios específicos, dependentes das orientações dos sistemas. A construção de um modelo digital a partir de um esboço, ou de uma maquete, é possível através da utilização de uma impressora 3D, fabricando o modelo com complexas geometrias curvilíneas. Os dados de informação do modelo digital são traduzidos por um software CAM que por sua vez ligada a sistemas controlados numericamente (CNC) processa o fabrico através de fresadoras, impressoras 3D e corte a laser.

fig_113
Walt Disney
Concert Hall
(2003) LA, de
Frank Gehry.

Nos anos 80, Gehry começou a explorar a curva na forma escultórica através de modelos físicos. Com o início de projectos como o American Centre em Paris (1998), também denominada de Cinemateca, ou o Walt Disney Concert Hall em Los Angeles (2003), surgem exercícios complexos que exploram a criação de massas irregulares curvilíneas, mantendo-se a linha ortogonal em zonas de excepção. As ideias inovadoras de Gehry e as limitações da construção naquela época tornaram-se claras nestas experiências. Assim, tornou-se essencial encontrar ferramentas capazes de traduzir com rigor as formas complexas que as maquetas dos projectos do escritório apresentavam.

fig_114
Walt Disney
Concert Hall
(2003) LA, de
Frank Gehry.

A entrada dos sistemas digitais no escritório de Gehry tem início quando Jim Glymph¹ se junta à equipa de projectistas, trazendo consigo uma larga experiência como arquiteto executivo.

1. Arquiteto e Professor Glymph é reconhecido como um pioneiro na aplicação de tecnologias de informática avançada no projeto de construção e no processo de construção.

Glymph insistiu desde o início da sua colaboração que a produção de desenhos e modelos deveria ser feita dentro do escritório, e não delegado a escritórios externos, como era comum naquela época, principalmente nos EUA. Assim, a produção de modelos tinha que estar envolvida diretamente no processo criativo, o que permitia a resolução instantânea dos problemas que surgiam. Nesta época, o CAD começava a ter aplicação na visualização arquitetónica, na animação cinematográfica e no design do campo automóvel e aeroespacial. Glymph percebe que estas novas tecnologias podem ser aplicadas nos processos de documentação arquitetónica, nomeadamente o software CATIA. Este programa foi concebido pela companhia de aviação Dassault Systemes para traduzir formas complexas em coordenadas geométricas precisas para a fabricação dos elementos, com base na curva de Bézier. A complexidade da representação geométrica e os métodos de construção da arquitetura de Gehry, tornam-se assim possíveis através das ferramentas digitais que permitem simplificar o desenho. O Peixe de Barcelona¹ teve um papel importante no escritório de Gehry, pois serviu como teste inicial a uma abordagem tecnológica digital. A escultura do Peixe, com 50 metros de malha em aço inoxidável e uma armação de aço estrutural, foi um teste, relativamente seguro, para o uso da representação digital como um veículo para documentação de construção. As capacidades do software CATIA foram essenciais para analisar a curvatura da superfície foram na execução da escultura.² No entanto, Gehry não utilizou este programa como uma ferramenta de desenho, mas como meio técnico para atingir a sua ideia de escultura. "Gehry está interessado em arte, vê-se como um artista arquiteto, (...)"³

Com as novas capacidades técnicas do escritório, os projectos para o Disney Concert Hall e American Center são finalmente executados. O edifício do Disney Concert Hall representa, para alguns teóricos, o primeiro exemplo em que se aplica completamente os sistemas CAD/CAM. Utilizou-se neste edifício a fabricação dos componentes à escala real (1:1), como são exemplos os painéis em pedra com dupla curvatura

1. Escultura de um peixe, localizada na zona marginal de Barcelona, faz parte do projecto da Vila Olímpica, construída em 1992, por altura dos jogos olímpicos que decorreram em Barcelona.

2. Lindsey, 2001, P.16-20

3. Steele, 2001: P.122

fabricados através de CNC em Itália e, em seguida, enviados para Los Angeles, onde foram posicionados e fixos em quadros de aço.¹

No entanto, é a partir de 1991, com o início do projecto para o Museu Guggenheim de Bilbao, que Gehry concretiza as suas ideias formais e conceptuais num edifício, transformando-se não só no edifício mais representativo da sua arquitetura, mas também no ícone mundial do que viria a ser chamado de arquitetura digital. Sinteticamente, o processo digital do projecto do museu começou por utilizar um aparelho a laser guiado sobre o modelo físico, que traduziu as superfícies curvas em pontos digitalizados no espaço tridimensional, formando um modelo digital que pode ser alterado pelo arquiteto. A partir deste modelo foi possível reproduzir novas maquetas ou protótipos reais, com as alterações desejadas, através das tecnologias de fabricação digital adotadas. Estes modelos serviram não só para atingir a forma final, no que diz respeito à arquitetura, mas principalmente, para procurar e experimentar o projecto estrutural adequado.

O Museu Guggenheim continua a servir de exemplo para evidenciar esta abordagem representacional da computação digital. A superfície exterior em placas de titânio apresenta-se completamente distinta da estrutura do edifício, e serve de pele unificadora das diferentes partes do edifício. O desenho diferente de cada painel só foi possível realizar com o apoio de ferramentas para a fabricação digital, assim como a colocação na sua posição específica, atingindo assim uma forma aparentemente contínua. Os computadores simplificaram o processo construtivo do edifício, mas para muitos este não foi conduzido na procura do progresso da arquitetura mas, antes, na satisfação das ideias individuais do arquiteto.

Considerado por uns uma escultura e por outros arquitetura (ou pela mistura dos dois, segundo o arquiteto), é inegável o impacto visual do museu e o valor que a produção tecnológica assumiu no resultado final.



fig_115
Vila Olímpica
Fish Sculpture,
Barcelona (1992),
de Frank Gehry.

Apesar da concepção da forma ser toda realizada através de maquetas físicas, o refinamento e a construção final só foram possíveis com a utilização do software CATIA.

O museu é comparado por alguns autores com uma catedral, pois tem a capacidade de promover autênticas peregrinações, tornando-se o responsável pelo desenvolvimento urbano e social consequente. Philip Johnson¹ deixa uma opinião marcante sobre a experiência da sua visita: “Ele disse que chorou quando viu o interior do museu, pois dá provas irrefutáveis que a revolução electrónica finalmente e definitivamente suplantou a era industrial, e que a sua profissão não vai voltar a enfrentar as mesmas restrições físicas regressivas”.²

fig_116
Museu
Guggenheim,
Bilbao (1997), de
Frank Gehry.

A prática arquitetónica de Gehry tornou-se sinónimo da aplicação da alta tecnologia e dos processos de fabricação CAD/CAM. Ainda assim, é o próprio arquiteto que admite a inabilidade em operar um computador e sugere que a qualidade da imagem digital é perigosa e subversiva para o olho do arquiteto.³ Para se perceber detalhadamente como Frank Gehry aborda um projecto, pode-se assistir ao documentário de Sydney Polack⁴, “Sketches of Frank Gehry”. Este filme aborda a vida e carreira de Frank Gehry, através de conversas entre os dois intervenientes. Durante o documentário, o tema da influência das tecnologias digitais na sua arquitetura é incontornável e é o próprio arquiteto que conclui que essas poderão ser responsáveis também pela expressividade e sensibilidade que a sua obra exprime. No entanto, Gehry assume que o computador é utilizado como um instrumento de tradução e não de produção de desenho, servindo para interpretar a geometria e não para a inventar. É neste sentido que Gehry se mostra verdadeira-mente pioneiro, ao utilizar as ferramentas digitais apenas a seu favor, no sentido de concretizar os seus objetivos formais, e assim introduzir novos vocabulários arquitetónicos.

149

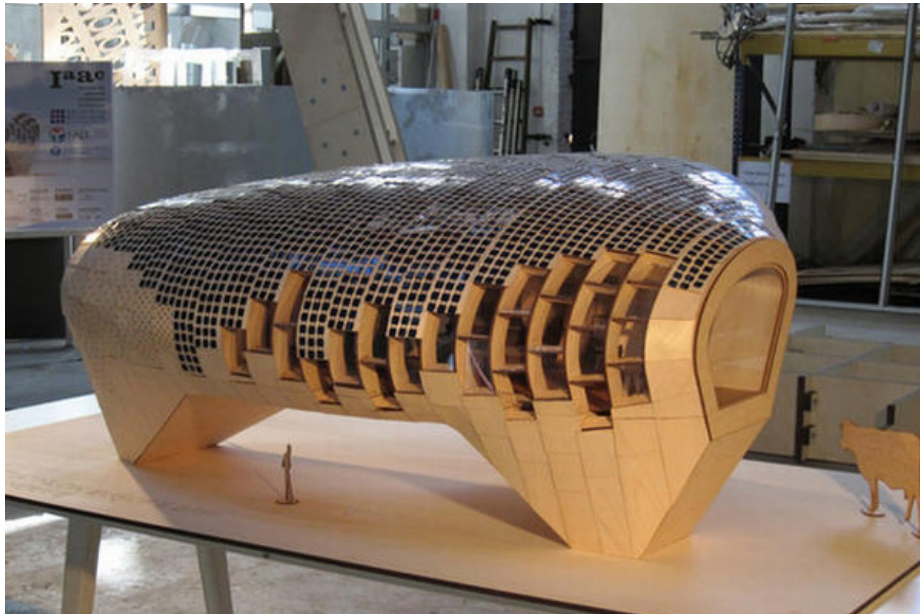
fig_117
Entrada Interior
do Museu
Guggenheim
(1997) de Frank
Gehry

1. Arquiteto Norte-americano (1906-2005), primeiro vencedor do prémio Pritzker em 1979

2. Steele, 2001: p.129

3. Shelden, 2002, P.68

4. Sydney Irwin Pollack (1934 - 2008) diretor de cinema americano, produtor e ator.



4.2.4 MIT FAB LAB - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FABLAB

Se procurarmos na Wikipédia o termo FabLab, verifica-se que o termo designa “Fabrication Laboratory” e que consiste numa oficina pequena, com acesso a um conjunto de ferramentas computacionais que atuam sobre várias escalas e materiais diferentes. Incluem tecnologia habilitada para a personalização de produtos variada e normalmente não existem para competirem com a produção em massa. O programa Fab Lab foi iniciado no Media Lab do MIT, resultado de uma colaboração entre o Grupo Invenção “Grassroots” e o Centro de Bits e Átomos (CBA) do MIT, no intuito de explorar formas de traduzir conteúdos de informação na sua representação física. As FabLab apelidam-se de pequenos laboratórios porque normalmente estão munidas de tecnologia de “ponta”. Estes laboratórios normalmente têm máquinas de corte a laser, máquinas CNC, de três ou mais eixos, impressoras 3D, circuitos de impressão e corte incorporado, microprocessadores e variada electrónica digital. Em julho de 2010, o MIT divulga que em 16 países existem 45 laboratórios (atualmente devem ser muitos mais), exemplo de um laboratório já internacionalmente reconhecido é o FabLabBcn associado ao Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha – Espanha. (IAAC)

O IAAC é um centro internacional de pesquisa, educação e investigação, orientado para o desenvolvimento da arquitetura como uma disciplina que aborda diferentes escalas de análise territorial e de desenvolvimento urbano, bem como diversos projetos arquitetónicos, processos e ambientes digitais de informação. Localizado em Barcelona, uma das capitais internacionais do Urbanismo, o instituto, dirigido por Vicente Guallart, desenvolve programas multidisciplinares que exploram fenómenos urbanos e territoriais internacionais, com ênfase especial sobre as oportunidades que surgem nos dos territórios emergentes e sobre os valores culturais, económicos e sociais com que a arquitetura pode contribuir para a sociedade. As obras IAAC estabelecem uma cooperação estreita com peritos inseridos em várias áreas, nomeadamente a engenharia, antropologia, sociologia, informática, matemática, biologia e ecologia, como

um meio ideal de formulação do projeto arquitetónico assim como para a procura de novas realidades de construção. As atividades do IAAC definem-se através de objetivos específicos. Para começar, o Programa de Mestrado IAAC e de outras atividades procuram estimular, promover e desenvolver pesquisas nas diversas áreas de arquitetura avançada. O IAAC tem um papel ativo ao nível de consultoria (nomeadamente informações tecnológicas e ligações à sustentabilidade, entre outras), este trabalha com as autoridades locais, organizações públicas e privadas sobre questões relacionadas com a arquitetura. Para além disso, o IAAC produz exposições e publicações a nível local, nacional e internacional, atividades que começam a ter repercussões a nível internacional.

Em Portugal também já existe a FabLab Coimbra, associada à Novotecná, no entanto este projecto ainda se encontra em fase de exploração embrionária. O impacto na cultura e na prática arquitetónica portuguesa ainda não teve os efeitos das FabLabs similares.

Um exemplo de um trabalho prático da FabLab Bcn é a Fab Lab House. Este projecto que consiste em contruir uma casa auto-suficiente, o projecto participou na competição "Solar Decathlon Europe 2010" através de um consórcio de organizações e empresas lideradas pelo IAAC. O objetivo foi projetar uma casa solar servindo-se das tecnologias actuais, gerando assim máximos recursos através de investimento mínimos. É uma casa construída para as pessoas, onde se verifica um compromisso de criação da cidade, e conexão ao mundo inteiro. A Fab Lab House é uma casa concebida como um centro ativo de produção, em vez de um espaço de consumo passivo. A casa gera duas vezes mais, a energia de que necessita para funcionar, por meio de um sistema fotovoltaico, que produz alimentos num jardim de cultura permanente e em árvores de fruta, também tem um pequeno laboratório FAB, ligado através de videoconferência com a rede global das Fab Labs, para a fabricação de objetos do quotidiano. A Fab Lab House, foi desenvolvida com um desenho aberto, possibilitando ser fabricada/adaptada com materiais locais, em qualquer parte do mundo.

4.2.5 ACHIM MENGES

Com o aparecimento de novos materiais e novas técnicas de manufaturabilidade surgem também novas morfologias e novos desafios tanto a nível metodológico como multidisciplinar para uma arquitetura digital.¹ Michael Hensel² e Menges Achim sintetizam o panorama arquitetónico atual como a síntese de alto nível de auto-organização material, morfogénese digital, modelação paramétrica associada e ao fabrico computadorizado (CAM). Para referenciar apresentamos duas obras produzidos dentro do contexto tecnológico atual. Hoje, uma mudança de paradigma emerge discretamente através de múltiplas inovações que, quando reunidas alcançam uma significativa mudança na operatividade e produção arquitetónica. A maioria dos materiais de construção utilizados hoje, são produzidos industrialmente, apresentando uma padronização estrutural e homogeneidade material. Podemos encarar a madeira como um dos materiais mais versáteis no campo arquitetónico e talvez muito diferente de outros devido ao fato de ser um “tecido” biológico. Por um lado, isto significa que a madeira tem vantagens que se impõem sobre a maioria dos materiais produzidos industrialmente: a madeira é natural, renovável, totalmente reciclável, e como material de construção é extremamente eficiente na energia. Por exemplo, a madeira necessita de menos 50 vezes de energia, do que o aço para assegurar rigidez na estrutura como um todo. Este exemplo apresenta uma pesquisa sobre como alternar representação arquitetónica para aplicações algorítmicas computacionais recorrendo às características e comportamento do material, neste caso a madeira.³ As aplicações CAD relacionam-se com técnicas de desenho com base em desenhos descritivos e modelos representacionais analógicos.⁴ Centramos agora esta parte do trabalho numa abordagem alternativa de concepção, na geração computacional da forma quando esta é resolvida diretamente através das características e comportamento físico do material.⁵

153

1. Menges, 2012, P.44-45

2. Michael Ulrich Hensel (1965-) arquiteto alemão, pesquisador, professor e escritor.

3. Menges, 2009, P.66-67

4. Terzidis 2006, P.3-4

5. Hensel e Menges, 2006, P. 88-89

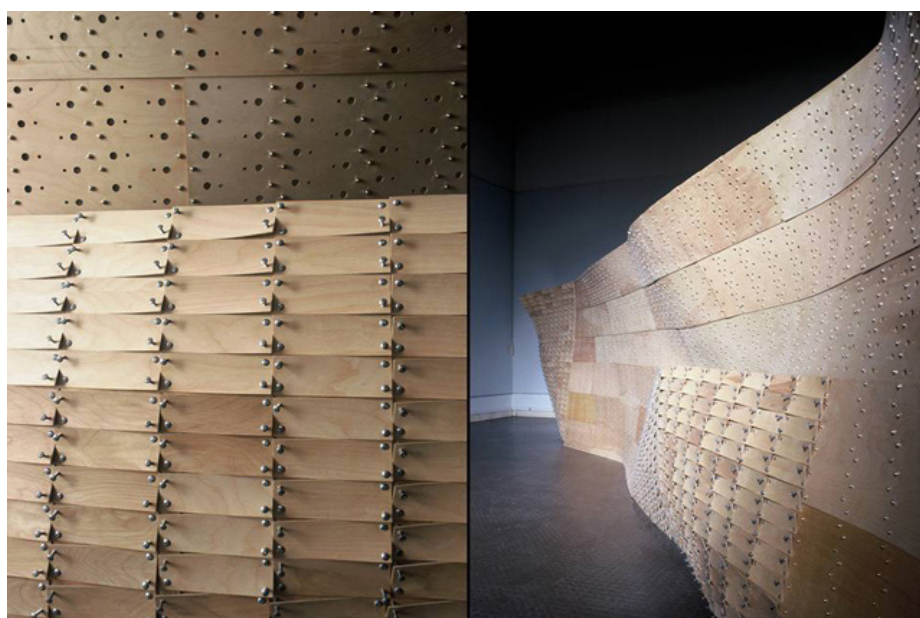
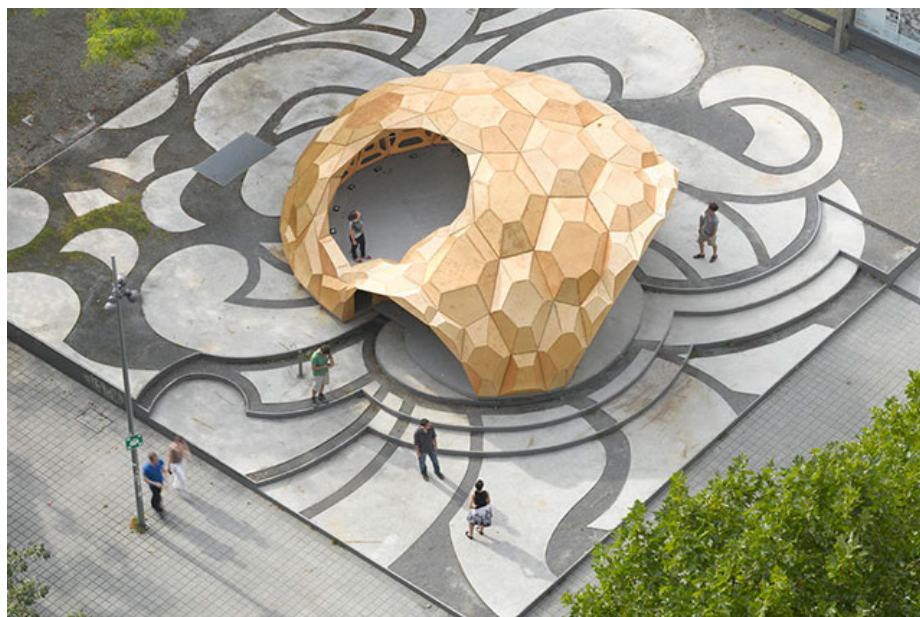
A forma não é definida através do desenho direto ou de procedimentos de modelação, mas através de regras, baseadas em processos algorítmicos. Assim, contrária às proporções formais e da informação inata das representações em CAD, a geração algorítmica exterioriza a relação entre o processo de formação, a informação de condução e a forma resultante. A reciprocidade concetual entre o processamento de informações algorítmicas e a geração de formas permite ao arquiteto resolver, no desenho processual, as propriedades e comportamento físicas do material desde o início do processo. A fim de explicar o desenvolvimento de processos computacionais que são diretamente informados pelas características e comportamento físico do material, são abordados dois projetos que fazem parte da investigação do autor relacionada com um material específico. O primeiro projeto é exemplar de como a informação de feedback entre as propriedades do material, o comportamento do sistema, a geração computacional, a robótica e a fabricação permite atingir potenciais performativos da madeira. O segundo projeto centra-se sobre a incorporação da informação relevante e as características anatómicas de elementos individuais em madeira, através de um desenho computacional contínuo, processos de fabricação, introduzindo novas formas de integrar a irregular variabilidade biológica e natural da madeira, na arquitetura.

Exemplo de um caracterizador do que temos vindo a explicar é o projeto, desenvolvido no ano de 2004 na Rice University Houston designado por "Meta-Patch" em colaboração com David Newton e Joseph Kellner. Este explora a possibilidade de utilizar a anisotropia da madeira na construção de um painel constituído por elementos uniformes empregados de forma a obterem variáveis material e estabilidade estrutural através de curvaturas complexas. A madeira devido à sua fibrosidade, exhibe propriedades anisotrópicas. Enquanto que esta facilidade anisotrópica poder ser entendida como uma problema da madeira, este projecto demonstra o potencial e a capacidade deste material.¹ Uma característica interessante na madeira é que esta tem rigidez variável em relação à orientação dos seus grãos e veios.

1. Menges, 2009, P.66-67

O projecto explora a elástica deformação da madeira sob a influência de forças externas para formar sistemas estruturais aperfeiçoados. O sistema é básico de alcançar, é constituído por elemento de madeira retangular, que são presos uns aos outros em dois cantos opostos, enquanto que os outros dois cantos são equipados com elementos que atuam sobre a base, neste caso são simples parafusos que actuam como espaçadores ajustáveis. Quando os parafusos fazem pressão, induzem força para dobrar a placa de madeira, esta começa a dobrar ao longo do seu eixo longitudinal e a forma acontece mediante a direcção da fibra principal da placa. Se o sentido de fibra principal se altera em relação ao eixo longitudinal, as alterações no comportamento de flexão e na geometria do elemento também altera. Em geral, o comportamento à flexão é dependente de um certo número de parâmetros tais como o comprimento do elemento em relação à largura, a orientação e condições da fibra principal, bem como ao tipo de madeira escolhida.

O Instituto de Design Computacional (CID) e o Instituto de construção de Estruturas e concepção estrutural (ITKE) projetaram e construíram, em 2010, um pavilhão temporário. A inovadora estrutura utilizada demonstra as capacidades da integração da computação digital na formulação projectual. O resultado é uma estrutura de flexão-ativa construída a partir de tiras de madeira, extremamente finas, esticadas e elasticamente curvadas. A forma física do pavilhão é determinada pela pressão exercida nas tiras. O pavilhão demonstra uma abordagem alternativa que corresponde a uma integração total das ferramentas computacionais. Mais uma vez a geração computacional da forma é o resultado direto das características e do comportamento físico do material. A estrutura é baseada no comportamento elástico de tiras de contraplacado. As tiras são roboticamente fabricadas como elementos planos e estão ligadas de modo a que as regiões dobradas alternem ao longo do seu comprimento. A força armazenada localmente de cada tira é correspondida pelo tensionamento da tira vizinha, aumentando assim de forma uniforme a capacidade estrutural do sistema. Para evitar pontos onde exista concentração de força no momento de flexão, as localizações dos pontos de ligação entre as tiras mudam ao longo da estrutura, resultando em 80



fig_121
ICD/ITKE
Research Pavilion
2011 Vista Aérea

padrões diferentes de tiras construídas a partir de mais de 500 peças geometricamente únicas. A energia armazenada resultante da flexão elástica durante o processo de construção mais os diferentes conjuntos morfológicos permitem atingir um sistema muito leve. A estrutura tem um diâmetro de doze metros e pode ser construída com placas finas (6,5mm). O modelo computacional realiza-se a partir de princípios paramétricos. A forma paramétrica define-se através de experiências físicas focadas na medição de desvios elasticamente curvados. Baseado em 6400 linhas de código algorítmico, o processo computacional deriva toda a informação geométrica para um robô industrial de 6 eixos. O modelo de análise estrutural baseia-se numa simulação MEF¹. Integrar simulações MEF ao processo de concepção computacional, através da exata medição geométrica do material, fica demonstrado através deste exemplo que a sugestão viabiliza novos caminhos para a criação e materialização de novas formas arquitetónicas.

Em suma, podemos verificar o potencial inerente à abordagem que Achim Menges pratica, ao utilizar nos seus projetos as capacidades e características dos materiais (nestes dois casos foram apontados exemplos que utilizam a madeira mas no site podemos constatar a utilização de outros materiais, como o betão, o ferro ou alumínio, materiais compósitos, etc.) em parceria com ferramentas computacionais. É talvez um dos autores que introduz uma certa inovação metodológica a nível projectual.

fig_122
Meta-Patch de
Joseph Kellner,
David Newton
(2004) Achim
Menges

157

fig_123
ICD/ITKE
Research Pavilion
2011 Pormenor
do Módulo

1. FEM em inglês, é uma forma de resolução numérica de um sistema de equações diferenciais parciais, por sua vez, estas equações diferenciais são utilizadas para resolver problemas que envolvem várias funções variáveis. Estas equações descrevem fenómenos físicos cujo comportamento depende da posição da eletrostática, eletrodinâmica, dinâmica de fluidos, etc.

REFLEXÃO FINAL



REFLEXÃO FINAL

Como podemos verificar, na era digital que vivemos, o arquiteto tem a possibilidade de estabelecer diversas relações com os meios de representação e de fabricação capazes de desenvolver sinergias entre si. Deparamo-nos com uma vasta capacidade tecnológica capaz de sustentar e concretizar as ideias do arquiteto, numa relação inédita até aos dias de hoje. Sobre este tema, Solà-Morales refere: “Abandonado o discurso do estilo, a arquitetura dos tempos modernos parece estar caracterizada pela sua capacidade de aproveitar as inovações que a ciência e a técnica do tempo presente oferecem como realizações específicas da mesma modernidade.”¹ Se por um lado existe uma maior relação entre o que se representa e a sua concretização, é inevitável considerar que também existe uma maior imposição dessa mesma tecnologia na solução arquitetónica. Como foi visto neste trabalho, os momentos com maior relevância na evolução tecnológica ao longo da história da tecnologia – Revolução Agrícola, Industrial e Digital - criaram condições para a mudança de paradigmas e para a alteração constante na metodologia utilizada na concepção da arquitetura, ao permitir ultrapassar os limites impostos pelos meios tecnológicos antecedentes. Assim, os recentes avanços tecnológicos na produção de dados, na computação e na visualização, associados à Revolução Digital, têm proporcionado aos arquitetos uma maior capacidade de criar e gerir informação complexa, que de uma forma ou de outra promove um novo marco na arquitetura.

Os arquitetos especializados em estratégias de arquitetura generativa e paramétrica, mais formalmente conhecida como computação arquitetónica, adotaram uma abordagem de grande interesse estratégico na exploração do processo arquitetónico como pode ser comprovado nos exemplos abordados neste trabalho, dos quais podemos destacar o trabalho de Archim Menges e do grupo SPARC. O primeiro torna-se referência nesta perspetiva, ao conjugar a exploração de uma nova expressividade,

associada à produção de artefatos digitais interativos, reposicionando o lugar do observador/habitante na criação da arquitetura. Esta ideia é também explorada no projecto HiDrone, do grupo SPARC, onde a sofisticação digital é aplicada na exploração de configurações variáveis e inconstantes, acrescentando à arquitetura o fator de movimento que não seria expectável sem o auxílio das ferramentas digitais.

Apesar da grande variedade de ferramentas digitais existentes no mercado atual, principalmente no que diz respeito à fabricação digital, é importante ter em consideração a necessidade da sua evolução no sentido de tornar mais fácil a sua utilização e o acesso a profissionais menos relacionados com a área informática.¹ Com o desenvolvimento deste trabalho, acreditamos que seria benéfico para a arquitetura a utilização destes sistemas de forma ativa na concepção arquitetónica, ainda que para muitos profissionais seja também importante manter a relação com os métodos tradicionais de apoio ao projecto.

Ao serem importados de outras áreas, como a aeronáutica ou o design industrial, os sistemas CAM sofrem alterações que permitem uma melhor adaptação às especificidades da concepção arquitetónica, tal como aconteceu com os sistemas CAD, mais associados à representação do objeto. Desta forma, estes sistemas estão cada vez mais adaptados à necessidade dos escritórios de arquitetura, sendo que, por causa deste complexo processo, ainda apresentam problemas que se prendem com o respetivo custo monetário envolvido nestas operações.

Após este trabalho, foi possível tomar consciência de que existem muitas promessas associadas à integração de novas tecnologias na arquitetura, verificando-se no entanto que, na prática, a sua aplicação real não é tão simples ou inovadora como por vezes é apresentado. Uma possível explicação para a expectativa criada pela exploração das ferramentas e processos CAD/CAM na arquitetura é o fato de ser normal e usual a sua utilização por parte de outras áreas, como uma espécie de “migração tecnológica”, que ao mesmo tempo que enriquece a arquitetura apresenta falhas na sua concepção genuína. Como exemplo desta situação podemos apresentar a comparação que se pode fazer com a igual complexidade necessária para desen-

1. SOUSA, 2005a, P.28-29

volver um produto da indústria aeroespacial ou um edifício. No primeiro, depois de resolvida a complexidade de um produto aeroespacial, este torna-se um modelo padrão pronto a ser reproduzido, enquanto que no edifício esta situação não acontece. Esta condição implica diferenças claras nos suportes económicos envolvidos na pesquisa e esforços de desenvolvimento das indústrias relativas, sendo que a rentabilidade de um modelo que se pode repetir não é comparável à rentabilidade de um edifício, que, em princípio, não será repetido em massa. A um nível diferente, pela escala associada ao design industrial, o tipo de produto envolvido permite a personalização em massa, procedimento onde muitos dos produtos são compostos por poucos componentes. Num caso extremo, nesta indústria existem produtos que consistem apenas em peças fabricadas através de uma máquina. A arquitetura como produto da personalização em grande escala e complexidade de componentes, encontra na produção em massa um grau de complexidade maior. Como exemplo desta complexidade, os projectos do gabinete Herzon & Meuron, apresentados anteriormente, procuram explorar as capacidades digitais na procura de texturas e padrões personalizados, identificando uma marca muito própria da sua arquitetura. Por outro lado, o reflexo da inovação digital pode ser reconhecido na exploração formal do objeto arquitetónico no sentido de encontrar a solução mais sustentável, como analisamos anteriormente nos projectos do gabinete Norman Foster + Partners. Desta forma, podemos reconhecer que a arquitetura não se envolve em todos os desafios teóricos propostos pelas novas tecnologias da mesma forma que outras indústrias, mas consegue encontrar várias possibilidades de exploração nos seus domínios infinitos.

Para ir além das limitações existentes e do desafio de paradigmas de construção convencionais com as novas tecnologias, os arquitetos precisam de ultrapassar o papel de importadores e simples usuários. A combinação estratégica dos processos de fabricação disponível é interessante e pode ser ajustado às especificidades da disciplina, mas, no final, define um horizonte limitado de progressão, estrangulado por desenvolvimentos que ocorrem noutras indústrias, como vimos anteriormente.

A evolução ocorrida ao nível do CAD, com os arquitetos a explorar técnicas avançadas de modelação e aplicações de programação personalizada, poderá agora esperar que se desenvolva ao nível da fabricação, com a necessária colaboração da investigação académica aliada aos arquitetos mais criativos, que desempenharão um papel decisivo no desenvolvimento das tecnologias digitais. Uma das alterações mais significativas que o processo arquitetónico sofreu com a introdução dos sistemas CAD/CAM está relacionado com a velocidade do desenvolvimento projectual, associado a facilidade de correção, repetição ou substituição dos desenhos. Este fator veio alargar também os parâmetros de exigência de um projecto, tanto por parte do arquiteto como por parte dos clientes, promotores ou outros intervenientes. Como vimos, a fabricação digital permite a apresentação, negociação e comercialização da ideia ao cliente, podendo desta forma alterar o projeto, as vezes necessárias, antes da construção. Naturalmente, este fato promove uma pressão saudável na arquitetura, de maneira a desenvolver produtos mais rápidos, de custo menor e com maior qualidade, através da simulação e da prototipagem rápida. A experimentação de novas expressões formais do objeto arquitetónico promove também o desenvolvimento na área da investigação de materiais. Desta forma, o conhecimento sobre as capacidades físicas dos materiais (novos ou já utilizados) permite ao arquiteto explorar formas, composições estéticas e topologias funcionais ilimitadas, tirando partido da potencialidade que as ferramentas digitais apresentam. Nesta perspetiva, os edifícios públicos, de carácter icónico, tornaram-se os pioneiros na utilização das ferramentas digitais, promovendo a exploração das novas formas arquitetónicas, como podemos assistir no exemplo mais comum associado a este tema, o Museu Guggenheim, de Frank Gehry. À parte da discussão do limite entre a arquitetura e a escultura, levantada por muito críticos sobre este edifício, no que diz respeito à exploração da potencialidade dos meios digitais para atingir formas complexas, Gehry mostra um novo caminho na adaptação de meios tecnológicos de outras áreas da sociedade para a arquitetura, como é exemplo o sistema CATIA, de maneira a atingir os objetivos formais outrora impossíveis de realizar.

A interação entre a arquitetura e o Homem não é uma consequência direta da evolução digital, estando sempre presente na sua história através do comportamento humano, mas neste período assume um papel importante, principalmente pela possibilidade de se associar a uma sociedade que se desenvolve com base em conceitos como o entretenimento, a publicidade ou a imagem. A exploração do potencial das ferramentas digitais na arquitetura permite procurar espaços arquitetónicos que provoquem reações sensoriais nos seus utilizadores, afastando-se cada vez mais da criação de uma arquitetura estática. São vários os efeitos da integração dos sistemas digitais na arquitetura, mas podemos considerar que é na metodologia do processo arquitetónico que se encontra a grande mais-valia da evolução digital. Ao dominar as técnicas de representação e a lógica da fabricação digital, é possível criar um sistema eficaz de produção arquitetónica, permitindo que o percurso entre a ideia e a sua materialização seja cada vez mais curto, mais produtivo e mais rentável. Esta será a metodologia que pode representar a verdadeira potencialidade das ferramentas digitais, associadas entre si, capazes de apoiar o processo arquitetónico em toda a sua extensão.

De fato o ideal era se todos os escritórios de arquitetura estivessem preparados para dominarem e tirarem partido desta fabricação digital, no entanto casos excepcionais como o exemplo de Frank Gehry e Norman Foster permitem concluir que podem ser adotadas diferentes estratégias na utilização dos sistemas CAD/CAM, consoante os objetivos que cada arquiteto pretende atingir. Assim, podemos dizer que a liberdade concetual na arquitetura é agora mais facilitada. Os novos métodos, recursos e processos digitais alargam naturalmente o contexto criativo, e em consequência, o aparecimento de novas formas arquitetónicas que levantam questões de ordem estética, psicológica e social. Torna-se importante questionar se um novo pensamento arquitetónico ignora, ou não, as regras formais que possam estar já estabelecidas na arquitetura, em favor de uma experimentação contínua, potenciada pela capacidade de geração e transformação que o meio digital permite atingir, sem que para isso seja necessário assumir uma expressão arquitetónica consequente.

Por todas as razões acima descritas, podemos reconhecer que a arquitetura não se envolve em todos os desafios teóricos propostos pelas novas tecnologias da mesma forma que outras indústrias, mas introduz desafios inéditos numa disciplina de atuação reconhecidamente complexa. Ao longo da História podemos assistir à constante adaptação do Homem à realidade tecnológica de cada momento, influenciando diretamente o seu modo de vida, bem como a respectiva evolução tecnológica influenciada pela necessidade sentida, situação mais evidente no momento atual de sofisticação tecnológica. Antes de entrar na discussão e definição de uma linguagem arquitetónica na Era Digital, é importante perceber as potencialidades que estes sistemas introduzem na procura pela tectónica da arquitetura que cada um explora. As mudanças digitais e o uso das máquinas de fabricação ainda não são uma realidade para todos os arquitetos, como vimos anteriormente, pois se por um lado o acesso a estes sistemas tem vindo a tornar-se mais simples e comum, por outro lado, o seu envolvimento no panorama da arquitetura nacional têm sido lento e moroso. Este fato pode estar relacionado com a falta de acompanhamento destas tecnologias por parte das escolas de arquitetura, que se têm mostrado reticentes quanto à exploração deste tema ainda nos anos de formação do arquiteto. Além disso, o modo de concepção do projecto por parte dos arquitetos continua muito agarrado aos meios tradicionais de desenho e de construção, tornando-se mais difícil a adoção dos novos sistemas. Por último, as questões económicas mostram-se como um obstáculo difícil de ultrapassar na alteração da metodologia concetual, sendo os custos de aquisição e utilização destes sistemas muitos altos para serem suportados pelos gabinetes.

As consequências do impacto da tecnologia digital na arquitetura são inevitáveis e aparentemente não têm limites, deixando um futuro incógnito.¹ Esta incerteza do que pode vir a seguir será talvez uma constante de todos os momentos importantes na história da Arquitetura, bem como noutras áreas da sociedade. Na perspetiva da globalização de utilização destes programas, a realização deste trabalho, a par da minha motivação profissional nesta área, procurou abrir caminho para uma melhor

1. STEELE, 2001: P. 13

compreensão dos sistemas CAD/CAM e da sua aplicação no campo da arquitetura. Através dos exemplos descritos podemos concluir que a adoção dos sistemas digitais, principalmente associados à representação, estão já intrinsecamente ligados à prática da arquitetura, de um modo geral. Fica por concluir se o mesmo irá acontecer com as técnicas de fabricação digital, ainda distantes da sua exploração generalizada por parte dos arquitetos. Podemos, ainda assim assumir que a utilização das ferramentas digitais na arquitetura permitem acompanhar a constante evolução da sociedade atual.





" (...) architects drew what they could build, and built what they could draw." 1

fig_125
Braço
Mecanizado a
detalhar módulos
do projecto ICD/
ITKE Research
Pavilion 2011

1. Kolarevic, 2003: p. 49 "...os arquitetos desenhavam aquilo que podiam construir, e constroem aquilo que podiam desenhar."



Livros

BALMOND, Cecil, SMITH, Jannuzzi, BRENSING, Christian, *Informal*, Munique: Prestel, 2007.

FRAMPTON, Kenneth, *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in The XIX and XX Century*, Cambridge: The MIT Press, 1995.

GIEDION, Sigfried, *Espacio, Tiempo y Arquitectura*, Madrid: Editorial Dossat, 1982.

HADID, Zaha, *The Possibilities of Parametric Design in 10 x 10 - 2*, Phaidon Press, 2005.

KOLAREVIC, Branko, *Architecture in the Digital Age, Design and Manufacturing*, New York, Spoon Press, Taylor & Francis, 2003.

LEACH, Neal, TURNBULL, D. and WILLIAMS, C. eds. *Digital Tectonics*. Hoboken, NJ: Wiley-Academy Press, 2004

LISBOA, Fernando, *Desenho Assistido por Computador*, Porto: FAUP Publicações, 1997.

LYNN, Greg (1999) "Animate Form", New York: Princeton Architectural Press.

MITCHELL, William J., MCCULLOUGH, Malcolm, *Digital Design Media*, New York: John Wiley & Sons, 1995.

MITCHELL, William, *City of Bits: Space, Place and the Infobahn*, Cambridge: The MIT Press, 1995.

MITCHELL, William, *E-topia: vida urbana, jim, pero no la que nosotros conocemos*, tr. Fernando Valderrama, Barcelona: GG, 2001.

SCHODEK, Daniel, et al, *Digital design and manufacturing : Cad, Cam applications in architecture and design*, New Jersey : John Wiley & Sons, 2005

SOLA-MORALES, Ignasi, *Differences: Topographies of Contemporary Architecture*, Cambridge: MIT Press, 1997.

ZELLNER, Peter, *Hybrid Space: New Forms in Digital Architecture*, London: Thames and Hudson, 1999.

Artigos em Publicações ou em Compilações de Textos

ABEL, Chris, "Architecture, Technology and Process", Oxford: Architectural Press, 2004, disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/56593655/Architecture-Technology-and-Process> - acedido em dezembro de 2010

ALLAN, Stan; FOSTER, Hal, "A Conversation with Kenneth Frampton", October Magazine e MIT, 106, 2003, pp.35-58, disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/55421056/A-Conversation-With-Frampton> - acedido em dezembro de 2010

ASANOWICZ, Aleksander, "Evolution of Computer Aided Design: Three Generations of CAD", in Architectural Computing from Turing to 2000, in eCAADe Conference Proceedings, Liverpool, pp. 94-100, 1999, disponível em Cummincad - acedido em 2011

BAERLECKEN, Daniel; KOBIELLA, Olaf, "Math Objects source Architecture in Computer", in eCAADe Conference Proceedings, Antwerpen, pp. 677-684, 2008, disponível em cummincad - acedido em janeiro de 2011.

BAERTSCHI, R., BONWETSCH, T., OESTERLE, S. "Adding Performance Criteria to Digital Fabrication Room - Acoustical Information of Diffuse Respondent Panels" in ACADIA 2008, Minneapolis, pp. 364-369, 2008, disponível em: <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/papers/index.html> - acedido em janeiro de 2011.

BARRIOS, Carlos, "Transformations on Parametric Design Models, Computer Aided Architectural", in Design Futures 2005 (Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Vienna, 2005, pp. 393-400, disponível em Cummincad - acedido em Fevereiro de 2011.

BAUDRILLARD, Jean, "The Transparecy of Evil", in Essays on Extreme Phenomena, Londres: Verso, 1993, p.119.

BEESELEY, Philip, SEEBOHM, Thomas, "Digital Tectonic Design", in Promise and Reality: State of the Art versus State of Practice in Computing for the Design and Planning Process, 18th eCAADe Conference Proceedings, Germany, pp. 287-290, 2000, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011

BONWETSCH, Tobias, KOBEL, D., GRAMAZIO, Fabio, KOHLER, Mathias, "The Informed Wall: Applying Additive Digital Fabrication Techniques on Architecture", p.489-495, 2006, disponível em: <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/papers/index.html> - acedido em fevereiro de 2011

BURRY, Mark, "Rapid Prototyping, CAD/CAM and Human Factors", in Automation in Construction 11, p. 313-333, 2002, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011.

CECCATO, Cristiano, GLYMPH, James, MUSSEL, Judith, SHELDEN, Dennis (2003) "A Parametric Strategy for Freeform Glass Structures Using Quadrilateral Planar Facets" Califórnia, USA, 2003, disponível em: <http://www.mendeley.com/research/parametric-strategy-freeform-glass-structures-using-quadrilateral-planar-facets/> - acedido em fevereiro de 2011.

CHOUGUI, Ali, "The Digital Design Process: reflections on architectural design positions on complexity and CAAD", in Computing in Architecture / Re-Thinking the Discourse: The Second International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design, ASCAAD, 2006, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011.

DORSEY, Julie, MCMILLAN, Leonard, "Computer Graphics and Architecture: State of the Art and Outlook for the Future", Massachusetts: Institute of Technology Computer Graphics p. 45-48, 1998, disponível em: <http://www.mendeley.com/research/computer-graphics-architecture-state-art-outlook-future> - acedido em fevereiro de 2011.

FERREIRA, Cristina, "Artefatos Digitais e Espaços Interativos", Faup: Dissertação de Mestrado, 2009.

FOSTER, Norman, Deyan SUDJIC, Spencer DE GREY, "Norman Foster and The British Museum, foster and partners", london and prestel verlag, munich, london, new york, 2001, disponível em google books - acedido em março de 2011

FURTADO, Gonçalo, SOUSA, J. Pedro, "Espaço Real e Espaço Virtual" in Arquitetura e Vida, vol. 20, p. 126-129, 2001.

FURTADO, Gonçalo, "Processo Criativo e a Estruturação em Computador": entrevistado por Bruno Zão, 2007, disponível em: <http://paskpricefrazer.blogspot.com/2007/10/thxs-mr-zo-for-interview-set-2007.html> - acedido em junho de 2011

GAO, Wan-Ping, "Tectonics? A Case Study for digital Free-Form Architecture" CAADRIA 2004, Seoul: Yonsei University Press. p. 519-534, 2004, disponível em: <http://www.arch.nctu.edu.tw/programs/cadcam/pdf/publish/caadria2004.content.tectonics.pdf> - acedido em fevereiro de 2011.

HEYNICK, Mitch, STOTZ, Ivo, "3D CAD, CAM and Rapid Prototyping" in LAPA Digital Technology Seminar, Geneve: EPFL, 2006, disponível em: http://fratals-ibois.epfl.ch/wiki/images/4/42/3D_CAD_CAM_Rapid_Prototyping.pdf - acedido em junho de 2011.

KESTELIER, Xavier, PETERS, Brady, "The Work of Foster and Partners. Specialist Modelling Group", London, p. 382-389, 2008, disponível em: <https://biblio.ugent.be/input/download?func=downloadFile&fileId=460569> - acedido em fevereiro de 2011.

KOLAREVIC, Branko, "*Digital Architectures, Eternity, Infinity and Virtuality in Architecture*", Washington D.C.: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Association For Computer-Aided Design In Architecture 2000, p. 251-256, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011

KOLAREVIC, Branko, "Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age", in Architectural Information Management – 05 Design Process 3, USA: University of Pennsylvania, 2001, p. 117-123, disponível em: http://www.tkk.fi/events/ecaade/E2001presentations/05_03_kolarevic.pdf - acedido em fevereiro de 2011.

KOLAREVIC, Branko, "*Digital Fabrication: From Digital to Material*", in Connecting Crossroads of Digital Discourse, Indianapolis: Proceedings of the 2003 Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture, 2003, p. 54-55, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011

KOLAREVIC, Branko, "*Manufacturing Surface Effects*" in ACADIA 2006, Synthetic Landscapes Digital Exchange, Digital Making: Superficies, Indiana: Ball State University, 2006, p. 95-103, disponível em: <http://www.mendeley.com/research/designing-manufacturing-material-digital-age> - acedido em fevereiro de 2011.

KOLAREVIC, Branko, "*Digital Architectures*", in ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality, 2000, p. 251-256, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011

KOLAREVIC, Branko (2001) "*Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age*", in Reinventing the Discourse - How Digital Tools Help Bridge and Transform Research, Education and Practice in Architecture, Proceedings of the Twenty First Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture Buffalo, New York, 2001, p.268-278, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011

KOLAREVIC, Branko, "*Back to the Future: Performative Architecture*", International Journal of Architectural Computing, volume 2, issue 1, pp. 43-50, 2001, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em fevereiro de 2011.

KOURKOUTAS, Vassileios (2007) "*Parametric Form Finding in Contemporary Architecture*", Vienna: TU Vienna, 2007, disponível em: http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-ar_7972.pdf - acedido em março de 2011.

KVAN, T. KOLAREVIC, Branko, "*Rapid Prototyping and Its Application in Architectural Design*", in Automation in Construction, Special Issue on Rapid Prototyping in Architecture, Amsterdam: Elsevier, 2002, p. 277-278, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em março de 2011.

LIM, Chor-Kheng, LIU, Yu-Tung "*New Tectonics: New Factors in Digital Spaces*", Taiwan: Graduate Institute of Architecture, NCTU, 2009, p. 46 – 59, disponível em: http://www.arch.nctu.edu.tw/works/pdf/publish/caadria2005_45.new%20tectonics.pdf - acedido em março de 2011.

LYNN, Greg, "*Architectural Curvilinearity: The Folded, the Pliant and the Supple*", in AD Profile 102: Folding in Architecture, London: Wiley Academy Editions, 1993, p. 8-15, disponível em: <http://arch629elldridge.files.wordpress.com/2010/04/read-to-p23wk14-lynn-et-al-folding-in-architecture.pdf> - acedido em março de 2011.

MCCULLOUGH, Malcolm, "*Abstracting Craft: the Practiced Digital Hand*", Cambridge: MIT Press, 1998, disponível em Google books - acedido em dezembro de 2010.

LEACH, Neil, "*Digital Cities AD: Architectural Design*" John Wiley & Sons, Setembro 22, 2009, disponível em google books - acedido em junho de 2011.

Lindsey, B. "*Digital Gehry, Material Resistance, Digital Construction*". Basel: Birkhauser, 2001, disponível em google books - acedido em dezembro de 2012

MCMILIAN, Leonard; DORSAY, Julie, "*Computer Graphics and Architecture: State of the Art and Outlook for the Future*", MIT, Computer Graphics, 1998, p. 45-48, disponível em: www.siggraph.org/publications/newsletter/v32n1/contributions/dorsey.html - acedido em dezembro de 2010.

MENGES, Achim, HENSEL, Michael, WEINSTOCK, Michael, "Techniques and Technologies in Morphogenetic Design", Arquitetura e Design, Wiley, May 22, 2006, acessado em dezembro de 2012

MENGES, Achim, "Material Computation: Higher Integration", in Morphogenetic Design Architectural Design, John Wiley & Sons, Apr 10, 2012, acessado em dezembro de 2012.

MITCHELL, William J. (1999) "Antitectonics: The Poetics of Virtuality", In: Beckman, John (ed.) (1999) The Virtual Dimension, New York, Princeton Architectural Press, 1999, p. 204-217, disponível em google books - acessado em dezembro de 2010.

MOREIRA, Diogo, "Circunstância contemporânea : projecto, modelação e manufatura" Porto : Faup, 2008.

MONEO, Rafael, "Paradigmas Fin del Siglo: los Noventa, entre Fragmentacion y la Compacidad", in Arquitetura Viva, nº 66, 1999, p. 17-24 - acessado em dezembro de 2010.

OXMAN, N., "Get Real Towards Performance-Driven Computational Geometry", International Journal of Architectural Computing, 2007, pp. 663-684, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em março de 2011

OXMAN, Rivka, "DDNET: The Conceptual Structure of Digital Design Emerging Body of Concepts of Digital Architecture", in Joining Languages, Cultures and Visions: CAAD Futures 2009, p. 601-613, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em março de 2011

PETERS, Brady; XAVIER De Kestelier, "Rapid Prototyping and Rapid Manufacturing at Foster + Partners source Silicon + Skin: Biological Processes and Computation", (Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA 2008, pp. 382-389, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em março de 2011

RASHID, Hani, "Arquitetura Virtual – Espaço Real", Prototipo, vol.07 – "Cidade em Performance", Lisboa, Junho de 2002, pp. 213- 217.

RHEINGOLD, Howard, "Chapter One: The Computer Revolution Hasn't Happened Yet" in "Tools for Thought", 2000, disponível em: www.rheingold.com/texts/tft/1.html - acessado em dezembro de 2010.

SCHMIDT, Anne Marie Due, "Digital Tectonic Tools", in Digital Design: The Quest for New Paradigms, 23rd eCAADe Conference Proceedings, Lisboa, 2005, pp. 657-664, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em março de 2011.

SHELDEN, D.R., "Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture, Department of Architecture", Cambridge MA: Massachusetts Institute of Technology. 2002, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em março de 2011.

SCHUMACHER, Patrik, "Digital Hadid: Landscapes in Motion" Birkhauser, London, 2004, disponível em <http://www.patrikschumacher.com/Texts/digitalhadid.htm> - acessado em dezembro de 2012

SOUSA, J. Pedro, "Introdução à Tecnologia Digital em Arquitetura", in Arquitetura e Vida, vol. 61, 2005a, p. 28-33.

SOUSA, J. Pedro, DUARTE, J. Pinto, "Digital Desires, Material Realities Perceiving the technological gap", session 5: fabrication - eCAADe 23, 2005, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em junho de 2011.

SPUYBROEK, Lars, "Textile Tectonics", entrevistado por Ludovica Tramontin, in "The architecture of continuity: essays and conversations", Rotterdam: V2_Publishing, 2006, p.226-243, disponível em google books - acessado em março de 2011.

STOTZ, Ivo, HEYNICK, Mitch, "3D CAD, CAM and Rapid Prototyping" LAPA Digital Technology Seminar, Workshop 1: April 06, 07, & 08 2006, pp.1-20, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acessado em março de 2011.

SZALAPAJ, Peter (2005) "The Digital Design Process in Contemporary Architectural Practice", in Digital Design Methods - eCAADe 23, 2005, p.751-759, disponível em google books - acedido em março de 2011.

TERZIDIS, Kostas, "Algorithmic Architecture", Routledge, May 31, 2012 (1. ed. 2006), disponível em google books - acedido em dezembro de 2012.

WASSIM, Jabi, "Digital Tectonics: the intersection of the physical and the virtual", Fabrication: Examining The Digital Practice of Architecture, New Jersey: Institute of Technology, 2004, p.256-269, disponível em: <http://cumincad.scix.net> - acedido em março de 2011.

WOODWARD, Christopher; HOWES, Jaki, "Computing in Architectural Practice", London: Taylor & Francis e-Library, 2005, disponível em google books - acedido em março de 2011.

CRÉDITOS DE IMAGENS

fig_1 - <http://www.notcot.org/post/53328/>

fig_2 a fig_4 - labcut.tumblr.com

fig_5 a fig_7 - http://en.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace

fig_8 a fig_10 - JABI, 2004: P. 258

fig_11 a fig_13 - <http://www.jeannouvel.com>

fig_14 - <http://www.listal.com/list/happy-birthday-fred-astaire>

fig_15 - www1.bp.blogspot.com/_7EiaVQaM5gs/S-awT8HNoHI/AAAAAAAAACcM/P2OLUgpVCw4/s1600/Fred_Ginger1.jpg

fig_16 - 2.bp.blogspot.com/-fVM0kYEkgf4/Ta3JGUfIZel/AAAAAAAAADk/I1hw5_SWaJs/s1600/scan0003.jpg

fig_17 - <http://www.archdaily.com/87031/frank-gehry-to-speak-at-pratt-institute-on-architecture-and-beauty/1278541145-architecture-01/>

fig_18 - http://www.davidhealdphotographs.com/data/photos/114_1guggenheim_bilbao_ph005.jpg

fig_19 - 0.tqn.com/d/architecture/1/0/r/x/Bilbao-Guggenheim.jpg

fig_20 - fr.academic.ru/pictures/frwiki/67/CNAM-IMG_0527.jpg

fig_21 - www.computersciencelab.com/ComputerHistory/HtmlHelp/Images2/ENIAC02.jpg

fig_22 - www.pcgameshardware.de/screenshots/970x546/2008/04/pascaline.jpg

fig_23 - cyberneticserendipity.net/page/2

fig_24 - makezineblog.files.wordpress.com/2010/03/turingfull560.jpg

fig_25 - media.johnwiley.com.au/assets/1157/76/Panel7_Inset1.jpg

fig_26 a fig_28 - www.spatialdesign.info/blog/134/wp-content/blogs.dir/3/files/sketches/generator-project-white-cedric-price1978.jpg

fig_29 e fig_30 - ZEID, 2009: P. 15-16

fig_31 - wewanttolearn.files.wordpress.com/2011/10/project2_page2_assembly_forming.jpg

fig_32 - wewanttolearn.files.wordpress.com/2011/10/project2_page3c2_associativegeometry.jpg

fig_33 - upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/CAD_CAM.png

fig_34 - farm4.staticflickr.com/3645/3323868570_f6288d5a90_o.jpg

fig_35 - ming3d.com/DAAP/ARCH794su2011/wp-content/uploads/2011/08/2232950880_211fb52b12_b1.jpg

fig_36 - adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2012/10/1350744442_1278041164_hagenstier3.jpg

fig_37 - www.art-antiquites.eu/images%20web/t974495a.jpg

fig_38 - www.designboom.com/contemporary/stadium/12.jpg

fig_39 - www.4kingdoms.com/untitled1.html

fig_40 - [upload.wikimedia.org/wikipedia/de/2/29/Notre_Dame_du_Haut\(ws\).jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/2/29/Notre_Dame_du_Haut(ws).jpg)

fig_41 - c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building2610/media/media_61924.jpg

fig_42 a fig_44 - www.franken-architekten.de

fig_45 - www.derivative.ca/wiki077/index.php?title=Spline

fig_46 - www.web3d.org/x3d/specifications/OLD/ISO-IEC-19775-X3DAbstractSpecification/Part01/components/nurbs.html

fig_47 - www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/spline/B-spline/bspline-curve-open.html

fig_48 - www.derivative.ca/wiki077/index.php?title=Spline

fig_49 - www.rhinoscript.org/gallery/17

fig_50 - STOTZ, 2006 p.4

fig_51 - www.rhinoscript.org/gallery/23

fig_52 e fig_53 - www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20-%20A%20New%20Global%20Style%20for%20Architecture%20and%20Urban%20Design.html

fig_54 - MITCHELL + MCCULLOUGH, 1995 p.430
 fig_55 - STOTZ, 2006 p.12
 fig_56 - MITCHELL + MCCULLOUGH, 1995 p.429
 fig_57 - STOTZ, 2006 p.11
 fig_58 - MITCHELL + MCCULLOUGH, 1995 p.430
 fig_59 - STOTZ, 2006 p.10
 fig_60 - STOTZ, 2006 p.8
 fig_61 - STOTZ, 2006 p.9
 fig_62 - http://www.free-d.nl:8080/uploads/default/scale_1024x768_q100/7fbc041fd89a931998f23f459d40624f45992684.png
 fig_63 - http://www.iaacblog.com/wp-content/uploads/2010/11/MG_5835.jpg
 fig_64 - <http://www.iaacblog.com/blog/2010/digital-fabrication-barcelona-site-milling/>
 fig_65 a fig_72 - <http://www.gramaziokohler.com>
 fig_73 a fig_76 - <http://www.contourcrafting.org>
 fig_77 e fig_78 - <http://www.dezeen.com/2011/10/31/icditke-research-pavilion-at-the-university-of-stuttgart/>
 fig_79 - <http://www.achimmenges.net/?p=4417>
 fig_80 a fig_82 - http://www.archdaily.com/15014/ad-futures-4-sparc/537939907_sequence-04/
 fig_83 a fig_87 - <http://www.nox-art-architecture.com>
 fig_88 - <http://www.core.form-ula.com/wp-content/uploads/2009/04/rkf-16.jpg>
 fig_89 a fig_94 - <http://www.herzogdemeuron.com/index.html>
 fig_95 a fig_108 - <http://www.fosterandpartners.com>
 fig_109 - <http://sketchingjourney.files.wordpress.com/2010/02/walt-disney-concert-hall-exterior-2.jpg>
 fig_110 - <http://www.dwell.com/latest/article/sketches-spain-and-other-gehrys>
 fig_111 - http://i.rndrd.com/cdn/farfuture/b4ggXxByzoM2pUZ6o4bu7keTGtDc5xkYCUFlm11orsA/mtime:1356916901/sites/default/files/1993-Frank_Gehry-Arquitetura_Viva-v_28-Jan_Feb-92-B-web.jpg
 fig_112 - <http://0.tqn.com/d/goparis/1/0/N/0/-/-/cinematheque.JPG>
 fig_113 - legenda.legenda-dom.ru/wp-content/uploads/2013/03/Walt_Disney_Concert_Hall_and_surrounding_area.jpg
 fig_114 - ABEL, 2004, p.149
 fig_115 - ABEL, 2004, p.119
 fig_116 - ABEL, 2004, p.124
 fig_117 - ABEL, 2004, p.123
 fig_118 a fig_120 - <http://www.fablabhouse.com/en/>
 fig_121 - <http://www.dezeen.com/2011/10/31/icditke-research-pavilion-at-the-university-of-stuttgart/>
 fig_122 - <http://www.achimmenges.net/?p=4417>
 fig_123 - <http://www.dezeen.com/2011/10/31/icditke-research-pavilion-at-the-university-of-stuttgart/>
 fig_124 - <http://www.jongrye.com>
 fig_125 - <http://www.dezeen.com/2011/10/31/icditke-research-pavilion-at-the-university-of-stuttgart/>

